

Emo Descovich

**Technik
der
Tiefe**

Technik der Tiefe

Von Emo Descovich

Mit 32 Abbildungen



5. Auflage

Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart
(Dieck-Verlag)

Nachdruck verboten. Alle Rechte, besonders
das der Übersetzung, vorbehalten.
Copyright 1932 by Franckh'sche Verlagshandlung
Dieck-Verlag) Stuttgart
Printed in Germany
Verlagsnummer 1396

Druck von Otto Bechtle G. m. b. H., Eßlingen a. N.

Scanned by Pluto

Inhalt

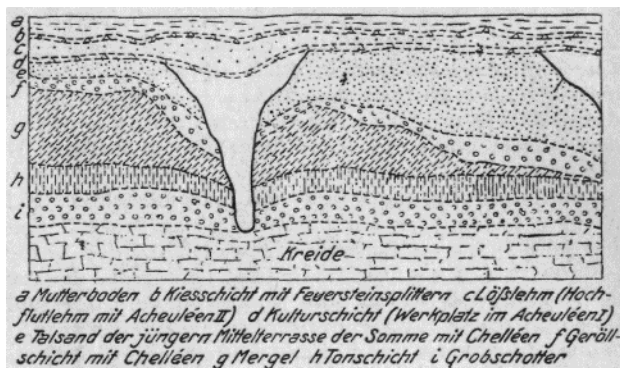
Bergbau der Alten	4
Moderner Bergbau	9
Bohrtechnik	15
Naturtauchen	24
Gerättauchen	28
Taucherkasten und Panzertaucher	43
Tauchboote	49
Tiefseeforschung	53
Wünschelruten der Wissenschaft	62
Erdwärme und Meereskälte als Kraftquellen	69

Bergbau der Alten

Sobald der Mensch die Erfahrung gemacht hatte, daß bestimmte Steine sich besser zur Vornahme gewisser Arbeiten eigneten als andere, suchte er nach ihnen. Er fand sie wohl auch offen zutage liegend auf dem Boden, doch oft genug in diesem zum Teil eingebettet. Er grub sie aus. Was war naheliegender als die Vermutung, daß in größeren Tiefen auch solche geeignete Steine zu finden wären, vielleicht sogar in größeren Mengen. Da sich das wiederholt bewahrheitete, grub er eben immer tiefer. So entstanden vorerst Tagbaue, in denen man nach Feuerstein, Obsidian, Nephrit, mitunter auch Schwefelkies grub. Schon frühzeitig hat man sich aber weiter vorgewagt. Auf der Antonshöhe nächst Mauer bei Wien stieß man 1924 in einem Schotterbruch auf eine Anzahl von Stollen und Schächten, die dort einst auf Hornstein und roten Jaspis vorgetrieben worden waren. Im benachbarten Hetzendorf fand man Spuren einer Siedlung, die offenbar ein bedeutender Handelsplatz gewesen sein muß, und im Schloßpark von Schönbrunn wurde eine befestigte Siedlung mit Wällen und Gräben aufgedeckt, in der sich Steinwerkzeuge aus Hornstein und Jaspis fanden, die dem Magdalenien-Typus angehören. Man hat es also hier mit einem altsteinzeitlichen Bergbau zu tun, dessen Ausdehnung es unzweifelhaft erscheinen läßt, daß er einen ziemlich großen Teil Europas mit Rohstoffen für Werkzeuge versorgte, soweit diese nicht in den unmittelbar benachbarten Siedlungen an Ort und Stelle hergestellt und als Fertigware nach entfernten Gegenden geliefert wurden 1. Mit Werkzeugen aus Holz, Stein, Knochen und Hirschhorn wurde gegraben, mit Öl oder tierischem Fett genährte Tonlampen leuchteten in der ewigen Nacht der dunklen Gänge. Man begnügte sich aber nicht damit, bloß von Hand aus zu graben. Man erleichterte sich die Arbeit durch „Feuersetzen“. Vor der zu bearbeitenden Felswand wurde ein Haufen von dünnen Reisern, untermischt mit stärkeren Ästen angezündet; war er niedergerannt, goß man Wasser auf den noch glühenden Fels, in dem sich dann Risse bildeten, die das Losbrechen erleichterten,

Bergrat Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. Heinrich Quiring berichtet unterem 1. November 1932 in "Forschungen und Fortschritte", daß ein bei Abbéville aufgefundener tiefer Schacht von einem altsteinzeitlichen Bergbau auf Feuerstein herrühre. Vorgefundene Werkzeuge gehörten dem älteren Acheuléen an, einer Epoche, die mit dem Verschwinden des Elephas antiquus aus Europa und dem ersten Auftreten des Mammuth zusammenfällt.

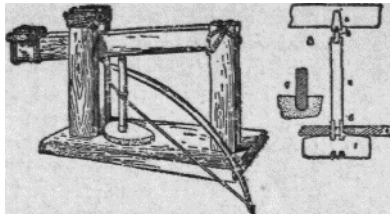
eine Technik, die sich bis in die Neuzeit hinein erhielt. Vielleicht hat man auch schon im Winter mit Wasser gesprengt. Man goß Wasser in vorhandene Risse und ließ es gefrieren. Daß man Sprenglöcher für diesen Zweck gebohrt haben sollte, ist kaum anzunehmen. Der Mensch der Altsteinzeit verfügte wohl schon über eine Bohrmaschine, bei der ein hohler, unten zugespitzter Knochen mit Hilfe eines Schießbogens in rasche Umdrehung ver-



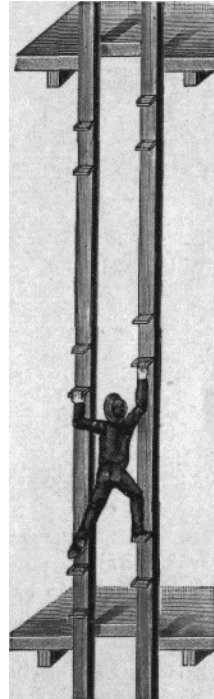
Ältester bekannter Bergwerkschacht. Aus dem älteren Acheuléen (Zeit des erstmaligen Auftretens des Mammuth) bei Abbéville in Frankreich. Aus „Forschungen und Fortschritte“ Heft 31 vom 1. November 1932

setzt wurde, und derart einen Kern ausbohrte. Die Wirkung wurde dadurch unterstützt, daß man die Bohrstelle fleißig mit Quarzsand beschickte, Doch diese Arbeit ging viel zu langsam, als daß sich auf diese Weise im Bergbau hätte ein Zeltgewinn erzielen lassen. Dafür wurde die Feuersetztechnik vervollkommen. Wie so viele Erfindungen, die bei Friedenswerken Bedeutung erlangen, trat auch in diesem Fall der Krieg als Lehrmeister auf. Um Breschen in Stadtmauern zu legen, bediente man sich gleichfalls des Feuersetzens. Man begnügte sich aber nicht mit dem einfachen Holzstoß, der ja dem Begießen mit Wasser seitens der Verteidiger ausgesetzt gewesen wäre. Man verwendete vielmehr eine Art Feuerschütz, das aber keineswegs eine mit Pulver geladene Kanone war, sondern auf dem gleichen Prinzip beruhte wie das Lötrohr, An dem der Mauer zugekehrten Ende eines langen Rohres hing ein Becken mit glühenden Holzkohlen, deren Flamme mittels am rückwärtigen Rohrende angebrachter großer Blasbälge gegen die Mauer geblasen wurde. So entstand eine recht kräftige Stichflamme, die örtlich sehr starke Hitze gab. Diese Einrichtung war den Griechen mehrere hun-

Neusteinzeitliche Bohrmaschine, Gebohrt wurde mit Quarzsand, der auf die Bohrstelle gebracht und in das Werkstück eingerieben wurde. Das geschah durch rasche Drehung eines Holzstabes (Vollbohrung) oder eines Rohres (Kernbohrung), z.B. ein Röhrenknochen, Bambus, Hollunderast und dgl.

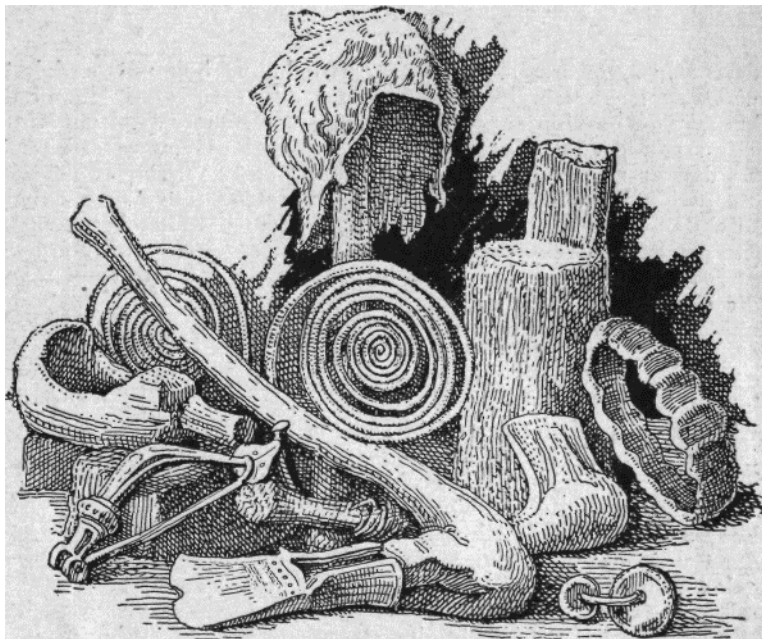


dert Jahre vor Beginn unserer Zeitrechnung bekannt, und hat wohl auch im Bergbau Anwendung gefunden. Daß Hannibal bei seinem berühmten Alpenübergang das Feuersetzen zur Hinewegräumung von Felsen anwandte, weiß jeder Gymnasiast, ebenso, daß er zur Steigerung der Wirkung statt Wasser Essig auf die glühenden Stellen gießen ließ, Daß seine Ingenieure dabei Stichflammen benutzt haben werden, ist hoch wahrscheinlich. Ein großer neusteinzeitlicher unterirdischer Feuersteinbruch befindet sich bei Mur-de-Barrez in Frankreich. An ihm sieht man die tief in den Stein durch die Förderseile eingeschnittenen Rillen, und zahlreiche Stützsäulen in den Stollen, die man stehen ließ, um ein Niederbrechen des Gesteins zu verhüten. Auch Salzbergbau wurde damals betrieben, so in Hallstatt und in Hall im heutigen Österreich. Das Salz wurde sowohl gebrochen als auch mit Wasser ausgelaugt. Einer späteren Zeit gehören die Erzbergbaue an. Wahrscheinlich war die Erschmelzung von Metallen eine Zufallsentdeckung gelegentlich des Feuersetzens, Welches Metall als erstes gewonnen wurde, ist strittig. Die Belegschaft gelangte ins Berginnere durch ebene oder geneigte Stollen oder auf Leitern durch stark geneigte oder lotrechte Schächte, die aber erst später aufgekommen sind. Das ausgebrochene Material wurde in Förderkörben getragen oder in solchen mittels Haspeln hochgewunden. Die „Fahrkünste“, auf und nieder wippende Leitern, • die dem Geübten durch abwechselndes Fuß-



Eine alte Fahrkunst. Vor Einführung der Förderkörbe für Mannschafftsförderung bestand in den Schächten neben langen Steigleitern noch die „Fahrkunst“. Zwei lange, pendelnd an einem Balancier aufgehängte Stangen mit ritten gingen im Gegentakt auf und ab. Der Steigende trat immer im Augenblick des Stillstehens bei der Umkehr der Bewegungsrichtung von einer Stange zur anderen über

fassen auf den Sprossen des einen und des anderen Leiter-
 teils eine rasche lotrechte Ortsveränderung ermöglichen, kamen
 wohl erst im Mittelalter auf. Dagegen dürften Pferde- und Och-
 sengöpel zum Aufwinden der Förderkörbe schon im Altertum
 verwendet worden sein. Auch das Stützen der Stollen durch
 Auszimmerung mit Grubenholz war den Alten schon bekannt.



Bergmannsgerät aus einem bronzezeitlichen Bergwerk (Steigbaum, Fellkappe, Schlegel, Bronzebeile, Grabschaufel usw.)

Beim Eindringen in das Erdinnere war das Anschneiden unter-
 irdischer Wasseradern unvermeidlich. Daraus ergaben sich Was-
 sereinbrüche, zu deren Bekämpfung man Schöpfwerke, aber
 auch Pumpen verwendete, von denen Überreste aus der Römer-
 zeit erhalten sind. Nach dem Aufkommen der Wasserräder für
 den Betrieb von Mühlen lernte man sich ihrer auch an Stelle
 der von Menschen oder Tieren angetriebenen Göpel und Tret-
 räder zu bedienen.

Bis ins 17. Jahrhundert blieben Schlegel und Meißel die Haupt-
 werkzeuge des Bergmannes, und man muß über die Leistungen

staunen, die mit diesen und den erwähnten Hilfsmitteln vollbracht wurden. So wurde unter dem Kaiser Claudius (41 bis 54 n. Chr.) ein Stollen zur Entwässerung des 150 km² großen Fuciner Sees (der Chiemsee hat 85 km², der Comer See 147 km²) gebaut. Bei den Arbeiten, die von 30000 Mann in elf Jahren ausgeführt wurden, trieb man, um die Zahl der Arbeitsstellen auf der 6 Kilometer langen Strecke zu vermehren, 40 senkrechte Schächte bis in Tiefen von 80 bis 120 m. Die Gruben der Fugger am Röhrerbühl bei Kitzbühl in Tirol erreichten im Lauf des 16. Jahrhunderts eine Tiefe von 880 Meter. In seinem berühmten Bergmannsbuch „De re metallica“ (herausgegeben 1556) erwähnt Agricola Treträder, Pferdegepöpel und Wasserräder zum Betriebe von Haspeln (Kunstgezeugen) für die Hebung von Grubenwasser. Ungefähr um dieselbe Zeit (1550) bildeten die Spanier in Amerika das Amalgamationsverfahren in ihren dortigen Silbergruben aus, das rasch Verbreitung fand, und heute noch bei der Gold- und Silbergewinnung aus ärmeren Erzen Anwendung findet.

Sonderbarerweise hat das Schießpulver erst sehr spät zu Sprengzwecken im Bergbau Eingang gefunden, aller Wahrscheinlichkeit nach zu Anfang des 17. Jahrhunderts in Tirol. Zumindest war es ein Tiroler namens Kaspar Weindl, der am 8. Februar 1627 die erste nachweisbare Sprengung mit Schießpulver in einem Bergwerk, und zwar im Oberschieberstollen in Schemnitz (Ungarn), ausgeführt hat (Feldhaus).

Die Einführung der Pulversprengung bedeutete einen ganz gewaltigen Fortschritt, den man sich bald allenthalben *zunutze* machte. Mit ihr hebt eine neue Epoche des bergmännischen Betriebes an, ein ungleich rascheres Fortschreiten der Arbeiten beim Vortreiben von Stollen und Schächten. Da man viel rascher in größere Tiefen gelangen konnte, und sie auch aufsuchte, wurde die Bewältigung der Wassereinbrüche immer schwieriger. Die bisher verwendeten Mittel genügten nicht mehr. Da brachte die Erfindung der Dampfmaschine die Befreiung aus dieser großen Verlegenheit. Im Jahre 1711 wurde die erste Newcomensche Dampfmaschine zum Wasserheben in einem englischen Bergwerk in Betrieb genommen.

Moderner Bergbau

Bis zu einem gewissen Grade ist es Geschmacksache, ob man die Einführung der Schießpulversprengung oder die der Dampfmaschine als jenes Ereignis ansieht, das an den Anfang der Geschichte des modernen Bergbaus gestellt zu werden verdient. Jedenfalls war beides unentbehrliche Grundlage für das Vordringen in größere Tiefen. Hohe Bedeutung für die weitere Entwicklung der bergmännischen Technik besaß auch die Errichtung bergmännischer Lehranstalten, wie 1766 in Freiberg in Sachsen, 1770 in Schemnitz in Ungarn. Auch die immer mehr zunehmende Gewinnung eines bestimmten Minerals, das die längste Zeit hindurch wegen seiner sonderbaren Eigenschaften mehr bestaunt als verwertet wurde, hat da eine ausschlaggebende Rolle gespielt: die Kohle.

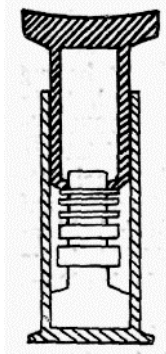
Vereinzelt verwendete man Steinkohle schon im Altertum. In einer englischen Kohlengrube fand man sogar steinzeitliche bergmännische Werkzeuge. Am Herd eines römischen Bades traf man auf Steinkohlenreste, und der griechische Philosoph Theophrastos, ein Schüler Platons, erwähnt die Verwendung von Steinkohle durch Eisenhüttenleute. Doch noch die Mitbürger Marco Polos lachten diesen aus, als er ihnen erzählte, daß die Chinesen sich eines reichlich im Lande vorkommenden schwarzen brennbaren Steines bedienten, um das Wasser für ihre Bäder zu erwärmen. Dabei war aber schon im zwölften Jahrhundert in England Kohle ein bedeutender Handelsartikel. Die erste Nachricht über Steinkohlegewinnung auf dem europäischen Festland findet sich in einer aus dem Jahre 1113 stammenden Liste über Schenkungen an die Augustiner Abtei Herzogenrath. In ihr werden „Kalkulen“ erwähnt. Heute noch bezeichnet man am Niederrhein die Kohlengruben als „Kohlkuhlen“. Doch das ist ein vereinzelter Fall. Kohlenbergbau wird in Deutschland erst im achtzehnten Jahrhundert eifriger betrieben. Gegenwärtig übertrifft die Förderung von Stein- und Braunkohle weitaus die jedes anderen bergmännisch gewonnenen Minerals. Die im Ruhrbezirk im Jahre 1924 aus der Tiefe hochgebrachte Kohlenmenge — rund hundert Millionen Kubikmeter — würde aufgeschichtet einen Bergkegel von 734 m Höhe und mehr als 12 ha Grundfläche bilden, die Gesamtmenge der im Jahre 1929 auf der ganzen Welt gewonnenen Steinkohle — fast

1 $\frac{3}{4}$ Milliarden Tonnen — einen Würfel von einem Kilometer Seitenlänge füllen.

Die Kohlegewinnung brachte etwas Neues in den Bergbau: Die Gefahr der schlagenden Wetter, Sie haben seit je viele Opfer gefordert. Um das Vorhandensein entzündlicher Gase vor Einfahrt der Belegschaft in die Grube feststellen zu können, sandte man meist durch das Los bestimmte Männer vor, die sie zur Explosion zu bringen hatten. Eine brennende Fackel an langer Stange über und vor sich haltend, krochen sie in die Grube. Hatte sich ein „schlagendes Wetter“ oben am „Hangenden“ angesammelt, wurde es auch pünktlich entzündet. Diese Leute trugen eine Maske vor dem Gesicht, waren mit einer wollenen Decke oder mit einem Mantel, den man wohl auch befeuchtete, bekleidet, und trugen eine Kapuze über den Kopf gestülpt, ähnlich wie sie manche Büssermönche trugen. Daher nannte man sie in Deutschland „Büßer“, in Frankreich „penitents“, was dasselbe bedeutet. Diese Namengebung mag auch damit zusammenhängen, daß gar viele dieser Männer bei ihrer gefährlichen Arbeit das Leben lassen mußten. Erst die Erfindung der Grubenlampe durch Humphrey Davy (1815), der sich dieser Aufgabe auf Bitten einer Anzahl von Grubenbesitzern unterzog, machte die Büßer überflüssig, doch ohne die Gefahren der schlagenden Wetter gänzlich bannen zu können. Auch andere Gefahren bedrohen den Bergmann. In der Luft verteilter Kohlenstaub kann sich entzünden, Stollen können einbrechen, nicht abgegangene Sprengschüsse später zur Explosion gelangen, an den maschinellen Einrichtungen können sich Unfälle ereignen, und Wassereinbruch ersäuft nicht selten ganze Baue. Man arbeitet solchen Vorkommnissen mit allen erdenklichen Mitteln entgegen. Die erzielten Erfolge mögen einige Ziffern aus dem Kohlenbergbau im Ruhrgebiet erhärten. Die Zahl der Grubengasexplosionen mit tödlicher Wirkung betrug im Durchschnitt der Jahre 1881 bis 1890 noch 23, fiel, trotz außerordentlich gesteigerter Förderung im Zeitraum 1921 bis 1925 auf 4, für den Zeitraum 1926 bis 1930 auf 3. Dabei ist die Anzahl der Todesopfer solcher Katastrophen von durchschnittlich je 65 auf 45 und jetzt auf 7 gesunken. Insgesamt entfiel auf je 1 durch Unfall irgendeiner Art Getöteten im Ruhrkohlenbergbau im Jahre 1913 eine Fördermenge von 106301 t, im Jahre 1930 schon 191 791 t, also nicht viel weniger als das Doppelte.

Der Eifer, mit dem der Abbau von Kohle betrieben wurde, kommt in den angeführten Ziffern zum Ausdruck. Er brachte es mit sich, daß ein Großteil der Verbesserungen in den bergmännischen Methoden von den Kohlengruben seinen Ausgang

nahm. Hier sei nur kurz über das berichtet, was ein Vordringen in größere Tiefen besonders erleichtert¹. Allgemein ließ sich dieses Ziel durch weitgehenden Ersatz menschlicher und tierischer Muskelkraft durch Maschinen fördern. Die Dampfmaschine, anfänglich bloß für Pumpwerke verwendet, eroberte sich immer größere Gebiete. 1799 wird sie erstmalig für die Hochförderung von Kohle angesetzt. Für den Betrieb von Grubenbahnen eignete sie sich wegen der starken Rauchentwicklung nur wenig. Um so bedeutungsvoller wurde die Druckluft, die heute im Bergbau äußerst vielseitige Anwendung findet. Sie treibt Werkzeugmaschinen und Handwerkzeuge, sie besorgt den Luftwechsel in tiefen Schächten und langen Stollen, treibt Lokomotiven. Kein anderes Mittel der Kraftübertragung bietet so große Sicherheit gegen die Entstehung von Bränden wie die Preßluft, Manche Bergbehörden schreiben sogar ihre ausschließliche Verwendung für bestimmte Zwecke vor; auch sonst wird sie im Bergbau bevorzugt. Ihr bedeutendster Rivale ist die Elektrizität, die sowohl für Beleuchtungszwecke — auch zur Speisung von Grubenlampen aus Akkumulatoren — wie für die Leistung von Kraftarbeiten ausgenutzt wird. In manchen modernen Bergwerken sind große Eisenbahnanlagen vorhanden, deren Verkehr sich vollkommen selbsttätig von zentralen Stellwerken aus regelt. Ihre Lokomotiven, teils durch Akkumulatoren, teils durch Druckluft betrieben, fahren allenfalls auch ohne Bedienungsmann. Der Abbau von Kohle und selbst von sehr weichem Gestein ist stellenweise auch ohne Sprengarbeit möglich. Schrämmaschinen schneiden das Material heraus wie Lehm. Die Weichheit hat aber auch ihre Nachteile. Der auf dem Stollen lagernde Gesteinsdruck kann ihn zusammenpressen. Deshalb muß für rasche Verzimierung Vorsorge getroffen werden. Bevor an diese geschritten wird, bringt man Stützen, sogenannte Grubenstempel an. Nun ist es von Wichtigkeit, das bevorstehende Eingedrücktwerden der Stollendecke frühzeitig zu erkennen, um die erforderlichen Stützarbeiten vorzunehmen, ehe es zu spät ist. Dieser Aufgabe werden zweiteilige Grubenstempel gerecht. Der obere Teil sitzt im unteren ähnlich wie der Stiefel in einer



Grubenstempel mit Abscherringen, die bei wachsendem Gesteinsdruck nacheinander abgesichert werden. Zweck: Verhütung des plötzlichen Einsturzes der Decke

¹ Wegen ausführlicherer Darstellungen des Bergwerksbetriebes sei verwiesen auf: Ed. A. Pfeiffer „Durch die technische Welt“ und „Das Bergwerk im Bild“ (beide Dieck & Co. Franckh's technischer Verlag, Stuttgart).

Pumpe. Er ruht z. B. mit einem Schneidkopf auf einem mit untereinander liegenden Ringansätzen versehenen Zylinder. Steigt der Gebirgsdruck, so wird zuerst der obere Ring abgesichert, dann der zweite usw., wobei der Schneidkopf immer wieder auf Ringe größerer Widerstandsfähigkeit stößt. Bei einem anderen Grubenstempel wird der Oberteil durch hydraulischen Druck emporgepreßt. Ein an der Verbindungsstelle angebrachter Hebel mit Gewicht zeigt durch seine Neigung die Größe des Gebirgsdrucks an.

In Kohlengruben bilden schlagende Wetter und Kohlenstaubexplosionen die größten Gefahren. In neuerer Zeit wendet man gegen sie Wasser- und Steinstaubsicherungen an. Im Stollen wird ein mit Wasser beziehungsweise Steinstaub gefüllter Behälter aufgehängt, der durch den Stoß der Explosion zum Kippen gebracht wird. Das Wasser oder der Staub verspritzt und bringt die Flammen der Explosion zum Erlöschen. Im U. S. bureau of mines sind indessen Versuche durchgeführt worden, um die Schlagwetterexplosionen überhaupt zu verhindern. Gewisse Stoffe machen Methan, den Hauptbestandteil der Schlagwetter, unentzündlich. Diese bringt man also in die gefährdeten Grubenteile, das heißt in solche, bei denen der Methangehalt der Luft über 5%, aber unter 14% beträgt. Bei höherem Methangehalt entzündet sich nämlich das Gemisch nicht mehr. Von den untersuchten Stoffen sind auf einen Raumteil Methan zur Herbeiführung der Unentzündlichkeit erforderlich von Argon 10,2 Raumteile, von Helium 6,3 — bei dem Preis dieser Edelgase immerhin recht kostspielige Mittel. Von Stickstoff genügen 6 Raumteile, von Kohlensäure 3,2. Die beste Wirkung hat man jedoch mit Dichlorodifluoromethan ($\text{C Cl}_2\text{F}_2$) und mit Kohlenstofftetrachlorid (Perchlormethan C Cl_4) erzielt, von denen nur je 1,4 Raumteile erforderlich sind¹. Jenes hat eine größere Löschkraft an der unteren, dieses an der oberen Entzündlichkeitsgrenze. Die Versuche sind noch lange nicht abgeschlossen, und zielen in ihrem weiteren Verlauf darauf ab, neue und zwar flüssige Verbindungen mit hohem Dampfdruck herzustellen, die man dann auch in der Praxis zum Löschen der Flammen besser benutzen kann als die beiden Stoffe mit den so schönen und leicht zu merkenden Namen.

Alle diese Mittel dienen der Erhöhung der Sicherheit im Bergbau. Nicht minder wichtig ist, besonders in tiefen Gruben, den Aufenthalt angenehmer zu gestalten, beziehungsweise ihn überhaupt erst zu ermöglichen; dem dienen große Luftwechselanlagen. Im südafrikanischen Goldbergbau im Witwater-Distrikt

¹ **Allerdings** wirkt bei längerem Verbleib auch ein geringerer Kohlendioxydanteil als 3% bereits schädlich. Ob sich „Tetra“ überhaupt eignet, ist fraglich. Man wird wohl doch lieber die „trägen“ Gase wählen müssen.

werden die tiefsten Schächte sogar mit Hilfe von Eisblöcken gekühlt, die man in die Lutten für die Luftzuführung einsetzt. Allerdings sind dort auch die allertiefsten Schächte der Welt. Den Vogel hat die Robinson Deep mine abgeschossen, deren unterster Teil eine Tiefe von 2356,5 m im Frühjahr 1932 erreicht hat, und jetzt vielleicht noch tiefer getrieben worden ist. Eisgekühlte Bergwerke sind immerhin eine recht bemerkenswerte Neuerung. Im Bergbau spielt aber Eis schon seit 70 Jahren eine keineswegs unwichtige Rolle, und zwar sozusagen als Baustoff. Stößt man nämlich beim Schachtbau auf wasserhaltige Schichten, so kommt man mit den gewöhnlichen Methoden nicht weiter, wenn die Pumpwerke zur Bewältigung des Zuflusses nicht ausreichen oder die Schicht zu unsicher, zu beweglich wird. Dann schreitet man zur Vereisung der Wasser führenden Schicht. Man versenkt in sie Kühlrohre, durch die man eine Kühlflüssigkeit, meist Chlormagnesiumlauge, aber auch Ammoniak, flüssige Kohlensäure, flüssige Luft o. a. hindurchpreßt. Die Umgebung wird dadurch so stark abgekühlt, daß sie gefriert. In diesem festgewordenen Frostzylinder kann man dann weiter arbeiten wie in trockenem Gestein. Nachdem man die nasse Schicht durchstoßen und die Schachtwände durch Einsetzen von Tübbings (gußeisernen Ringsegmenten) gegen das Wasser abgedichtet hat, kann man ohne Gefahr die Kühlverrohrung wieder entfernen. Die Gefriermethode wird übrigens auch im Bauwesen mehrfach angewendet. So hat man sich ihrer zum Beispiel bei der Untermauerung des wackelig gewordenen schiefen Turmes von Pisa bedient.

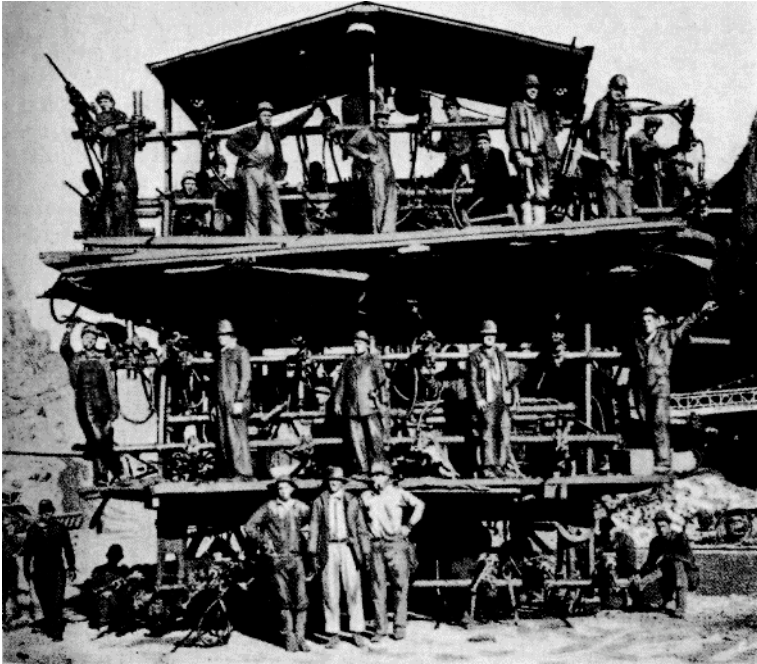
Ausschlaggebenden Einfluß auf die Bewältigung grober Gesteinsmassen nahm die Entwicklung der Sprengtechnik. Der 1867 vom Schweden Nobel erfundene Dynamit bot ein Mittel, das nicht nur das Schwarzpulver an Wirksamkeit weit übertrifft, sondern sich auch unter Wasser verwenden läßt, was bei jenem nicht möglich ist. In neuerer Zeit hat man sich auch anderen Sprengmethoden zugewandt. So tränkt man mit Kohlenstaub gefüllte Patronen mit flüssiger Luft, setzt sie ins Sprengloch ein, und bringt sie nach Verdammung zur Explosion. Besonderes Interesse darf die Sprengung mit verflüssigten Gasen beanspruchen, zu der man auf der Suche nach Sicherheits-sprengstoffen für Gruben mit Schlagwetter- und Kohlenstaubgefahr gelangte. In ein entsprechend großes Sprengloch wird eine mit flüssiger Kohlensäure gefüllte Stahlflasche eingeführt, deren Inhalt man durch eine darin angebrachte elektrische Heizvorrichtung in Dampf verwandelt. Der Dampfdruck reißt den dünnen Boden der Flasche auf, und die mit etwa 700 atü Druck entweichende Kohlensäure leistet die Sprengarbeit. Bei Dynamit- und ähnlichen Sprengungen treten ungleich höhere

Drücke auf. Für die Kohlensäuresprengung benötigt man daher mehr Sprenglöcher, was zwar erhöhte Kosten verursacht, doch wird namentlich Kohle dabei nicht so zertrümmert, sondern mehr gespalten, auch kann man die Sprengpatronen nach Anbringung eines neuen Bodens wieder verwenden. Man könnte das Gerät demnach als Mittelding zwischen Sprengpatrone und Geschütz bezeichnen.

Bohrtechnik

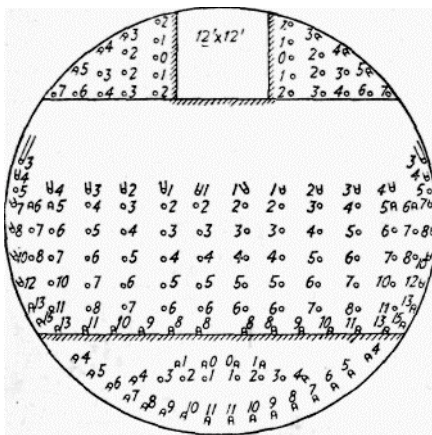
Auf sand- und salzbedeckter Steppe lohen Feuer gen Himmel, vor denen sich Menschen in andächtiger Scheu beugen. Jahrtausende hindurch ist es im Lande Aserbeidschan so gewesen, wo der Kult der Feueranbetung entstand, der in der Religion der Parsen heute noch fortlebt. Die heilige Flamme aber wird genährt durch das aus dem Boden quellende Erdöl und Erdgas mit dem die Menschen lange Zeit hindurch nicht viel anzufangen wußten. Die Ägypter benutzten es zum Einbalsamieren, im Mittelalter braute man Heilmittel daraus. Der Bedarf war nicht groß. Die natürlichen Quellen lieferten weit mehr als man verwenden konnte. Im Braunschweigischen allerdings hat man Erdöl um die Wende des 18. Jahrhunderts bergmännisch durch Schachtabteufen gewonnen. Heute ist der Hunger nach dieser so kostbar gewordenen Flüssigkeit unersättlich geworden. Man bohrt tief in die Erde, um sie nach oben zu fördern. Aber nicht Menschen steigen in Schächten dort hinunter. Es genügen Bohrlöcher, um das Erdöl über Tag zu fördern. Da man immer tiefer bohren muß, hat die Bohrtechnik unter dem Druck dieses Hungers einen ungeheuren Aufschwung genommen. Aber, wenigstens im westlichen Kulturkreis, hat ihre Ausgestaltung vom Bergmannswesen ihren Ausgang genommen, wo seit Einführung der Pulversprengung Bedarf nach rascher Herstellung von Sprenglöchern bestand. Die erste — mit Hand betriebene — Bohrmaschine für diese Zwecke scheint Henning Hutmann im Jahre 1636 eingeführt zu haben. Die erste mechanische — mit Dampfbetrieb — wurde 1849 von J. J. Couch in Philadelphia gebaut. Einen gewaltigen Fortschritt bedeutete die Einführung des schwarzen Diamanten zur Besetzung der Bohrkronen im Jahre 1857 durch den Genfer Uhrmacher Georges Auguste Leschot. Noch im gleichen Jahre wurde der Diamantbohrer zum erstenmal an einer mit Luftkompressor arbeitenden Maschine beim Bau des Tunnels durch den Mont Cenis versuchsweise eingesetzt. Die vom Hamburger Alfred Brandt 1876 erdachte Druckwasser-Gesteinsbohrmaschine, die mit 150 Atmosphären arbeitet, vermochte das vierfache der vorerwähnten zu leisten. Drei Jahre später kam die elektrische Solenoid-Stoßbohrmaschine von Werner Siemens auf. Gegenwärtig finden Preßluft, Druckwasser, Dampfmaschinen, Verbrennungs- und Elektromotore in der Bohrtechnik nebeneinander Verwendung. Eine großartige Leistung wurde

bei den Vorarbeiten zur Errichtung des Hooverdamms in Kalifornien vollbracht, der einen See von größerer Ausdehnung als der Bodensee durch Aufstauung des Koloradoflusses erzeugen soll. Um die Baustelle trocken zu legen, mußten vier Tunnels von



Moderne Gesteinsbohrmaschine mit drei Stockwerken zur Herstellung der Sprenglöcher für die 15 m hohen Ableitungstunnels beim Bau des Hooverdamms in Kalifornien

15 m Durchmesser gebohrt werden. Gewaltige Maschinen, die in der ersten Zeit mit Druckluft, nach Herstellung einer Überlandleitung" zu einem Elektrizitätswerk elektrisch betrieben wurden, besorgten das Bohren der für jeden Sprenggang" erforderlichen 110 Sprenglöcher innerhalb von durchschnittlich je $2\frac{1}{2}$ Stunden. Der größte Tagesfortschritt betrug 14 m, und zwar in ziemlich hartem Fels. Zum Vergleich sei die rein bergmännische Arbeit beim Stollenvortrieb herangezogen, wie sie in Mitteleuropa üblich ist. Es werden meist Stollen von 15 bis 25 m² Querschnitt hergestellt. Der Vortrieb erfolgt entweder im Ge-



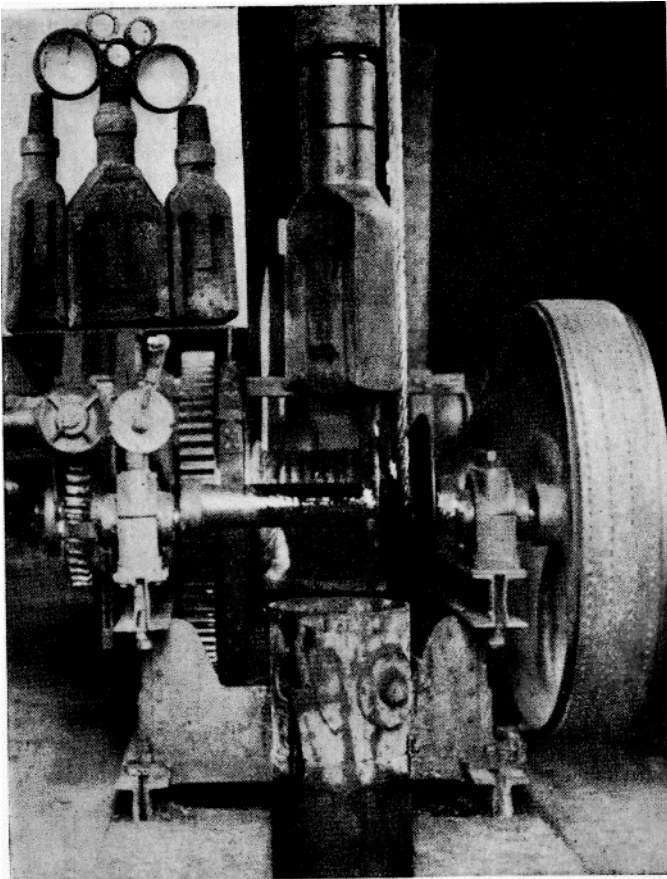
Anordnung der Sprenglöcher der 15 m hohen Ableitungstunnels für den Bau des Hooverdammes. Zuerst wurde die Mittelpartie des oberen Segmentes, dann die anliegenden Segmentteile, schließlich die restlichen Querschnitte ausgesprengt

samtquerschnitt oder im Teilquerschnitt mit nachfolgendem Vollaussbruch, wobei man bald größere, bald kleinere (Vortrieb im Kleinstquerschnitt) Querschnitte wählt. Als Leistung im Monatsdurchschnitt in hartem Granit rechnet man je 24 Stunden mit 5 m Vortrieb bei

der ersten, mit 6 bis 6 ½ m bei der zweiten, und mit 8 ½ m bei der dritten Art. Bei den oben erwähnten Tunneln von 175 m² Gesamtquerschnitt für den Hooverstaudamm kam die dritte Art in Anwendung. Allerdings hatte der Kleinstquerschnitt mit 17 m² schon die Abmessungen eines normalen Gesamtquerschnitts. Dann wurden oben zwei Teilquerschnitte von je ungefähr der gleichen Größe, und unten ein solcher von der dreifachen gesprengt, worauf erst der mittlere Teil entfernt wurde. Der Abtransport des ausgesprengten Felsmaterials, über 12 000 m³ im Tagesdurchschnitt, konnte nur durch Inanspruchnahme der modernsten Maschinen bewältigt werden. Die große Höhe des Tunnelstollens gestattete die Aufstellung großer Greiferkrane und die Verwendung großraumiger Muldenkippwagen. In den eigentlichen Bergwerken hat man hingegen nur wenig Raum zur Verfügung, wodurch alle Arbeiten außerordentlich erschwert werden. Diesem Übelstand begegnet man durch weitgehende Automatisierung der Anfüllung der Wagen und ihres Transportes. Zur Untersuchung von Gestein auf Erzgehalt, zu den Probebohrungen, mußte man aber auch in vertikalem Sinne wirkende Werkzeuge oder Maschinen einsetzen. Da kommt man nun mit den gewöhnlichen Mitteln nicht mehr aus, sobald nur eine einigermaßen größere Tiefe erreicht ist. Man mußte mit längerem Gestänge arbeiten, was manche Schwierigkeiten mit sich brachte, die der Bohrtiefe eine ziemlich enge Grenze zogen. Damit man seinen Zweck erreichte, Einblicke in die geologische Struktur des Erdinnern, insbesondere die Beschaffenheit der dort vorhandenen Gesteine zu gewinnen, mußten auch Einrichtungen zum Hochbringen von Gesteinsproben geschaffen werden.

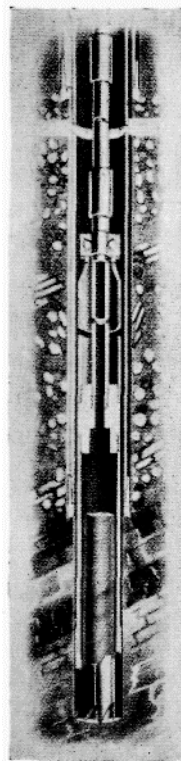
In weichen Bodenmassen benutzt man den Holzbohrern ähnliche Werkzeuge, mit denen man auch das an ihnen sich ansetzende Bohrgut als Probe mit heraufholt. Sammelt sich feiner Sand oder Wasser im Bohrloch, muß man Sackbohrer oder einen Bohrlöffel verwenden, der auch zum Ausräumen des Bohrlochs dient.

Die Erfindung des Erdbohrers für größere Tiefen wird von den Franzosen Bernhard de Palissey zugeschrieben, der zu Anfang des 16. Jahrhunderts in Agen geboren wurde. Die älteren Erdbohrer waren an einem langen Holzgestänge befestigt. Das erste steife eiserne Gestänge soll nach von Brückmann vor 1833 in Württemberg bei der Bohrung artesischer Brunnen zur Anwendung gelangt sein. Man kam aber mit den steifen Gestängen nicht gar zu tief. Freiherr von Oeynhausen, der mit einem solchen 1834 bis ungefähr 300 m gelangt war, kam infolge von Brüchen nicht mehr weiter. Beim Arbeiten traten nämlich infolge des großen Gewichtes des Gestänges Stauchungen und starke Vibrationen auf, denen das Material nicht mehr gewachsen war. Oeynhausen unterteilte das Gestänge, so daß es gewissermaßen aus riesigen Kettengliedern bestand. Der Oberteil, das Obergestänge, war an seinem unteren Ende mit einer sogenannten Rutschschere versehen, die den Meißel abrutschen ließ, der dann mit großer Kraft unten aufschlug. Bohrmeister Kind aus Freiberg gestaltete die Idee weiter aus, trennte die Gestängeteile vollständig, und ließ den Meißel ganz frei fallen. Um mit diesem Gerät arbeiten zu können, muß das Bohrloch mit Wasser gefüllt sein. Das Obergestänge trägt unten einen mit Leder gedichteten Kolben, der beim Hochziehen infolge des Wasserdrucks nach unten auf eine Schere gepreßt wird, deren Backen sich dadurch um das obere Ende des Meißels schließen und ihn mit hochziehen. Beim Niedergehen wird durch den nunmehr von unten wirkenden Wasserdruck die Schere geöffnet, und der Meißel fällt. Dieser Freifallbohrer, der besonders in hartem Gestein gute Dienste leistet, wurde zum erstenmal am 17. Juni 1844 von seinem Erfinder bei Mohndorf an der luxemburgisch-französischen Grenze verwendet. Schon vorher, 1841, hatte der Franzose Dégoussé durch Einführung von eisernen Rohren an Stelle der massiven Stangen für das Gestänge dieses erheblich leichter gemacht. Eine wichtige Verbesserung, die sowohl während der Bohrarbeit als auch beim Aufholen des Gestänges, das zwecks Ausräumens des Bohrloches mit dem Bohrlöffel verhältnismäßig oft erfolgen muß, sich wohltätig auswirkt. Mit dieser seither weiter verbesserten Methode gelangt man in sehr große Tiefen. In weichem und lockerem Gestein wendet man die Spülbohrung an, erreicht aber mit ihr nur Tiefen bis zu ungefähr 100 m. Bei ihr wird durch ein im Bohrloch hängendes Rohr Wasser gepreßt,

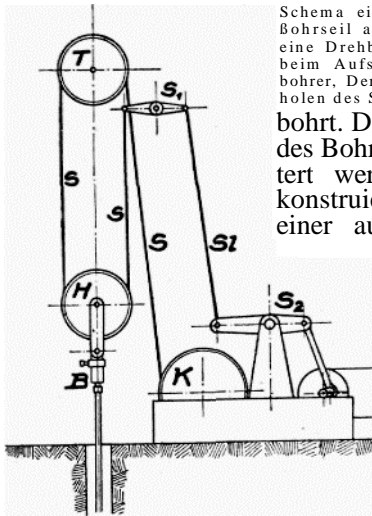


Meißelbohrer für Tiefbohrarbeit. Der Bohrmeißel hängt an einem aus massiven Stangen oder Rohren bestehenden Gestänge, das in das Bohrloch, dessen Verrohrung unten zu sehen ist, hinabgelassen und durch kurzes nicht zu hohes!) Fallenlassen betätigt wird. Links oben verschiedene Größen von Meißelbohrern. Der Maschinenbetrieb dient zum Heben und Einlassen des Gestänges

das an den Außenwänden des Rohres hochsteigt, wodurch das Reinigen des Bohrlochs besorgt wird. Dem Spülwasser entnimmt man dann die Gesteinsproben aus den durchfahrenen Schichten. Der Leschotsche Diamantbohrer bedeutete auch für die Tiefbohrtechnik einen gewaltigen Fortschritt. Bei den mit diesem Werkzeug arbeitenden Maschinen kommt in gewissem Sinn die steinzeitliche Technik des Kernbohrns wieder zu Ehren. Hatten unsere Vorfäter als Bohrer einen hohlen Knochen verwendet, so ist jetzt ein hohles Stahlrohr an seine Stelle getreten. Das eigentliche Bohrmittel, der Quarzsand, ist durch Diamanten ersetzt. Nur werden sie nicht lose eingeschüttet, sondern in den Unterrand des Bohrrohres gefaßt. In beiden Fällen wird aber nur eine kreisförmige Nut im Gestein ausgeschliffen, und ein Kern bleibt stehen. Die Einrichtung dieser Kernbohrmaschinen ist in ihren Grundzügen folgende: Zu unterst befindet sich ein zylindrischer Stahlstutzen, dessen untere Kreisringfläche mit Diamanten besetzt ist — die Bohrkrone. Im Stutzen, an den sich das gleich weite Kernrohr nach oben zu anschließt, sind federnde Ringe angebracht, die den Bohrkern festhalten, damit man ihn hochbringen kann. Das Kernrohr ist mit dem hohlen Bohrgestänge verbunden, das bis über Tag reicht, und maschinell in rasche Umdrehung versetzt wird. Durch das Gestänge wird Wasser gepumpt, das an der Bohrkrone austritt und, ebenso wie bei der Spülbohrung zwischen Bohrlochwänden und Gestänge mit dem ausgeschliffenen Bohrgut nach oben kommt und so für dessen Fortschaffung sorgt. Sobald der Bohrkern eine gewisse Länge erreicht hat, bricht er, je nach der Gesteinsart, früher oder später ab. Das Gestänge braucht aber erst dann hochgehoben zu werden, bis das Kernrohr vom Bohrkern vollständig ausgefüllt ist. In brüchigem Gestein tritt leicht ein Nachfallen der Wände ein, wodurch die Bohrarbeit beeinträchtigt wird. Dagegen schützt man sich durch Verrohren der Bohrlöcher, indem man in sie Eisenrohre einbringt, die man miteinander vernietet. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Durchmesser der Verrohrung ab. Unter ihr wird weiter ge-



Kernbohrer. Als Bohrer dient eine am Unterrande mit scharfen Stahlschneiden oder Bohrdiamanten besetzte Stahlrohre, die durch das Bohrgestänge in rasche Umdrehung versetzt, einen Kern aus dem Gestein ausschneidet



Schema einer Seilbohranlage. Belastet dreht sich das Bohrseil auf, entlastet wieder zu. Dadurch entsteht eine Drehbewegung des Bohrers. Außerdem wirkt er beim Aufschlagen auf das Gestein wie ein Meißelbohrer. Der Maschinentrieb dient zum Auf- und Niederholen des Seiles

bohrt. Da man durch sie an lichter Weite des Bohrlochs verliert, muß dieses erweitert werden, was mit verschiedenartig konstruierten Werkzeugen geschieht. Bei einer aus dem Jahre 1930

stammenden Neukonstruktion bedient man sich eines oberhalb des Bohrmeißels angebrachten, durch einen am Gestänge sitzenden Exzenter angetriebenen zylindrischen Bohrkörpers.

Besonderes Interesse bietet das Seilbohren, bei dem der Meißel nicht nur eine Schlag-, sondern auch eine Schneid-

wirkung ausübt. Es beruht darauf, daß ein belastetes Seil sich auf-, ein entlastetes sich wieder zudreht. Zwischen Seil und Meißel wird ein Wirbel eingeschaltet, dessen Reibung gegen den Meißel größer ist als die Torsionskraft des Seiles. Beim Anhub wird dann dem Meißel durch diese eine drehende Bewegung erteilt, die allerdings beim Bohren in lockerem Gestein ausbleiben pflegt. Dann wirkt der Seilbohrer nur als Schlagbohrer. Diese Methode ist die älteste der Tiefbohrtechnik. In Europa wurde sie zu Beginn des vorigen Jahrhunderts namentlich in Frankreich beim Erbohren artesischer Brunnen zur Anwendung gebracht. Die Chinesen haben sich ihrer jedoch schon zur Zeit Christi zur Gewinnung von Salzlake bedient. Rohre wie Seile sind aus Bambus hergestellt. Die erreichten Bohrtiefen gehen bis zu 1000 m. Die Salzlake wird aus den Bohrlöchern in 25 m langen Bambusrohren von 76 mm Innendurchmesser hochgebracht. Nach Ester ist gegenwärtig in Szetschuan eine Million Menschen bei dieser Art der Salzgewinnung beschäftigt. Der Antrieb der Bohrmaschinen erfolgt durch menschliche oder tierische Muskelkraft. Die Bohrzeiten sind wesentlich länger als bei maschinellm Antrieb, die Bohrkosten für das gleiche Endergebnis aber keineswegs höhere. Auch äußerlich unterscheidet sich ein chinesisches Bohrfeld nicht allzu sehr von einem kalifornischen. Da wie dort geben die Bohrtürme der Landschaft ihr eigenartiges Gepräge. Es sind hohe Holz- oder Eisengerüste in der Form sehr steiler

Pyramiden, in deren Innerem die Antriebsmaschinen untergebracht sind.

Beim Bohren nach Erdöl kommt vornehmlich die sogenannte Rotary-Bohrung, eine verbesserte Methode der Kernbohrung, in Anwendung. Je nach der Art des Gesteins sind die Bohrkronen mit Stahlschneiden oder mit Diamanten besetzt. Da durch Wassereintritt eine Verwässerung des Oles eintritt, muß die Verrohrung der Bohrlöcher besonders sorgfältig erfolgen. Auch genügt das bloße Verrohren nicht. Man muß die Rohre auch noch im Bohrloch einzementieren. Eine interessante Bohrung, die am 31. Oktober 1931 eine Tiefe von 3074 m erreichte, wurde in Südwest-Oklahoma im Cement-oilfield innerhalb der kurzen Zeit von nur neun Monaten durchgeführt. Sie möge auch herangezogen werden, um einen Begriff von den bei Verrohrungen angewandten Rohrdurchmessern zu vermitteln. Bis auf 24 m Tiefe setzte man Rohre von 32 cm lichter Weite ein. Beim weiteren Vordringen ging man zu immer engeren Rohren über, deren Durchmesser z. B. in 1684 m nur mehr 23 cm, in 2281 m bloß 17 cm betrug. Es gibt aber auch bedeutend weitere Bohrlöcher. So hat die Preußische Berg- und Hütten-AG, mit modernen Rotary-Bohrmaschinen mehrere Bohrungen mit einem Durchmesser von 40 bis 60 cm bis rund 800 m Tiefe gebracht, und eine von ihnen weist noch in 1600 m einen Durchmesser von 27 cm auf. Die größte Rohrtiefe wurde bisher mit 3226 m auf einem mexikanischen Ölfeld erreicht.

Bei schnellem Bohren weichen die Bohrlöcher oft erheblich, bis zu 30° und darüber, von der Lotrechten ab. Das tritt besonders dann ein, wenn stark verworfene Schichten verschiedener Härte nacheinander durchfahren werden. Man muß das zu vermeiden trachten. Zu diesem Zweck muß man aber auch wissen, nicht nur daß eine Neigung vorhanden ist, sondern auch nach welcher Himmelsrichtung sie weist. Diese Feststellung kann durch Einführung eines Neigungsmessers nach ungefähr je 4 m Bohrarbeit erfolgen. Bis vor kurzem gab es aber keinen verlässlichen Neigungsmesser. Man bediente sich u. a. einer mit Fluorwasserstoff zum Teil gefüllten Glasflasche. Nach einiger Einhängszeit wurde das Glas von der Füllflüssigkeit angegriffen, und man konnte den Neigungsgrad, nicht aber die Richtung ablesen, da sich die Flasche beim Aufholen um ihre Längsachse zu verdrehen pflegte. Erst in letzter Zeit wurde ein verlässlicher Neigungsmesser entwickelt. Er besteht in seinen Grundzügen aus zwei übereinander angeordneten Pendeln, von denen eines in der Nord-Süd-, das andere in der Ost-West-Richtung schwingt. Die Beibehaltung der Schwingungsrichtung wird durch einen Kreisel, der ähnlich dem Schiffskreisel konstruiert ist, erzwungen. Die Pendel sind mit Schreibspitzen versehen, die ihre Bewegungen auf

Papierstreifen aufzeichnen. Einen anderen Neigungsmesser hat sich 1930 Maillard de Bois Saint-Lys in Deutschland patentieren lassen, der Größe und Richtung des Ausschlags eines in das Bohrloch eingeführten Pendels durch Herstellung eines elektrischen Kontaktes bei dessen Anschlag an der Innenwand des Hohlkörpers, in dem es aufgehängt ist, über Tag anzeigt. Noch ein paar Worte über erreichte Bohrleistungen, Unter günstigen Verhältnissen vermag man mittels der Spülbohrung bis zu 30 m in 24 Stunden zu erzielen. Das aus den Siebziger Jahren stammende Werk Strippelmanns über Tiefbohrtechnik errechnet folgende Durchschnittsleistungen je 24 Stunden: für Seilbohrer 1,70 m, für Freifallbohrer mit steifem Gestänge 1,49 m, für Diamantbohrer 5,77 m. Da Angaben über die durchgeführte Gesteinsart nicht gemacht sind, geben diese Ziffern nur Anhaltspunkte. Die Fortschritte in der Erdölbohrung sind im Jahrbuch der Technik 1928/29, Seite 37, wie folgt zusammengestellt: 1902 wird eine Sonde innerhalb eines Jahres auf 514 m niedergebracht. 1926 erreichte man 787 m schon binnen acht Monaten und bald darauf 825 m in gar nur neun Wochen. Welche Bohrmethode man in jedem Fall am besten anwendet, richtet sich nach der Beschaffenheit des Grundes, der man sich auch mitunter durch Wechsel in der Bohrmethode anpassen muß. Wie tief man gehen will, hängt bis zu den bis jetzt erreichten größten Tiefen in erster Linie vom Kapital ab, das man aufzuwenden in der Lage ist. Tiefbohren ist nämlich sehr teuer. Strippelmann gibt für seine Zeit z. B. für Seilbohren für den Fuß (zu 314 mm) Bohrlochtiefe 25 bis 41,25 Mark, für Freifallbohren 47,49 Mark, für Diamantbohren 100,17 Mark im Durchschnitt an. Für eine Bohrung bis auf 1000 m Tiefe rechnet man heute ungefähr 300 000 RM., doch schwanken die Kosten je nach Beschaffenheit des Bodens und anderen Umständen in weiten Grenzen,

Mit den größeren Tiefen steigen die Schwierigkeiten und die Kosten, während sich die Bohrgeschwindigkeit im allgemeinen verringert. Rein technisch sind die modernen Bohrgeräte wohl auch zur Erreichung weit größerer Tiefen geeignet, als sie das früher erwähnte mexikanische Bohrloch aufweist.

Naturtauchen

Das Wasser, das dem Menschen Fische und Muscheln zur Nahrung liefert, bringt auch andere Erzeugnisse hervor, die schon frühzeitig für allerlei Zwecke hohen Wert gewannen. Es seien nur Schwämme, Perlen und die glückbringenden Edelkorallen genannt. Sie konnte man nicht mit Netz und Angel aus der Tiefe heraufholen. Um sie zu gewinnen, mußte man selbst hinabsteigen in die grüne Dämmerung. Mit der allmählichen Entwicklung der Kultur wuchs die Nachfrage nach diesen begehrenswerten Gütern. So entstand in begünstigten Küstengegenden schon im frühen Altertum eine regelrechte Taucherindustrie. Eine Keilinschrift aus Ninive gedenkt der Perlenfischerei im Persischen Golf, und auch in den ceylonesischen Gewässern blühte dieses Gewerbe schon zur Zeit Buddhas. Dort wird es heute noch vielfach in ähnlicher Weise betrieben wie damals. Fröhlich ziehn die Fischer mit ihren Booten hinaus nach den Perlengründen. Dort angelangt werfen sie Anker. Dann treffen die Taucher ihre Vorbereitungen. Sie sind ungemein einfach. Ein Seil, an dem man sich anhalten kann; ein daran befestigter Stein, den der Taucher mit den Füßen umklammert, um durch dessen Gewicht in die Tiefe gezogen zu werden, ein Messer zum Lösen der Muscheln, ein Körbchen, um sie einzusammeln: das ist alles. Nur mit einem schmalen Lendenschurz bekleidet, sonst nackt, wie ihn die Natur geschaffen, stellt sich der Taucher an den Rand des Bootes, holt ein paarmal recht tief Atem, und läßt sich dann von seinem Stein rasch in die Tiefe tragen. Höchstens daß er seine Nase mit einer Art Wäscheklammer zuklemmt. Unten angelangt, rafft er hastig an Muscheln zusammen, was er erreichen kann, bis ihn Atemnot nach oben zwingt. Wann tritt dies ein? Bis zu welcher Tiefe vermag ein Mensch ohne Geräte hinabgelangen?

In älteren Werken wird mit Viertel-, halben und ganzen Stunden nur so herumgeworfen. Das ist natürlich Fabel, wenn nicht irgendwelche Tauchgeräte benutzt wurden, über deren Beschaffenheit man nur Vermutungen anstellen kann. Das aber ist man versucht anzunehmen, wenn man die alten Geschichtsschreiber liest, die von ganz erstaunlichen Leistungen berichten, und deren Wahrheitsliebe, lange hindurch allgemein angezweifelt, sich allmählich als ungleich größer herausstellt als man einst zu hoffen gewagt hätte. So hat nach Herodot der Taucher

Skyllias für den Perserkönig Xerxes beträchtliche Mengen versunkenen Schiffsguts geborgen, und die Marine des alten Rom unterhielt ein eigenes Taucherkorps, die „Urinatores“. Auch in modernen Reiseberichten kann man lesen, daß Schwamm- und Perlentaucher durchschnittlich 3 bis 5 Minuten, ausnahmsweise auch 10 Minuten in Tiefen bis zu 30 m und selbst darüber arbeiten. Man will das durch eine Art Anpassung des Körpers der Taucher infolge Vererbung durch zahlreiche Generationen im Laufe von Jahrhunderten oder Jahrtausenden erklären. Jene Angaben werden von Fischereiaufsehern gemacht, und was mehr ist, auch geglaubt. Das ist erklärlich. Wartet man nämlich auf das Wiederhochkommen eines solchen Burschen, ohne die Uhr zurate zu ziehen, so glaubt man selbst gern an 5, 10 und mehr Minuten Tauchdauer. Die Zeit dehnt sich endlos. Doch unerbittlich ist die Uhr. Auch sie scheint angesteckt. Die Zeiger scheinen am Zifferblatt zu kleben. Nur im Schneckentempo kriechen sie weiter. Die beste Leistung, für die sich die Amerikanerin Bella Sidney Woolf, die im Jahre 1925 studienhalber bei den Perlenfischern Ceylons weilte, verbürgen zu können glaubt, wies ein Araber auf, der 109 Sekunden in 14 m Tiefe arbeitete. Die Durchschnittsleistungen seiner arabischen Kameraden schwankten zwischen 60 und 70 Sekunden, die der Tamilen zwischen 35 und 50 Sekunden. Die größte bekannte Tiefe — angeblich 56 m — wurde von einem Griechen erreicht, der in den Gewässern des Dodekanes nach einem verloren gegangenen Anker des italienischen Schlachtschiffes „Reghina Margherita“ suchte, und an ihm auch ein Tau befestigte, mit dem man ihn hochzog. Der Mann wurde dann als Phänomen an verschiedene medizinische Fakultäten geschickt. Es sollen an ihm Abnormitäten gefunden worden sein, die ihn zu seiner unwahrscheinlich anmutenden Tauchleistung befähigt haben mögen. Über die Tauchdauer vermochte mein Gewährsmann, der sich damals an Bord des genannten Schiffes befunden hatte, keine genauen Angaben zu machen, und bis zur Indrucklegung dieser *Zeilen* gelang es mir nicht, die amtlichen Daten zu erheben. Soviel wurde mir aber bekannt, daß der Grieche mehrmals tauchte, um seine Aufgabe zu erfüllen. Ein geübter Seemann vermag aber auch unter Wasser einen gut haltenden Knoten in sehr kurzer Zeit zu schürzen, so daß die Tauchdauer unter einer Minute geblieben sein könnte. Ich selbst habe dem Tauchsport sehr stark gehuldigt, es aber bei ruhigem Sitzen unter Wasser niemals über anderthalb Minuten gebracht. Beim Tieftauchen auf ungefähr 8 m war der Drang auszuatmen, schon überaus stark. Dieser ist es, der einen rascher nach oben zwingt, als vielleicht sonst nötig wäre. Als obere Grenze guter Durchschnittsleistungen kann eine Tauchdauer von anderthalb Minuten und eine Tiefe in der Gegend

von 20 m angenommen werden. Daran können auch vereinzelte, wesentlich höhere Leistungen nichts ändern. Ueber solche berichtet Walter Mang, nexeologisches Archiv Heidelberg. Ihm zufolge erreichte 1900 der Deutsche Örtel 5 Minuten 5½ Sekunden. Diese Tauchdauer wurde überboten von dem Australier Evans mit 5 Minuten 17¾, und vom Franzosen Pouliquen, der es 1912 in Paris auf 6 Minuten 29¾ Sekunden brachte. Nach Ablauf von 5 Minuten war er von der Stange, an der er sich unter Wasser festhielt, abgeglitten und verschwunden. Man fand ihn nach vorher vergeblichem Suchen nahe am Ausfluß des Bassins liegen, und brachte ihn an die Oberfläche, wo er sich bald soweit erholte, daß er durchs Bassin schwimmen konnte. Ohne fremde Hilfe wäre er aber wohl ertrunken. Bei diesen Rekorden handelt es sich um Anspruchsleistungen von Ausnahmismenschen, und durchwegs um Tauchen ohne Arbeitsleistung in seichtem Wasser. Aber auch für einen geübten Sporttaucher sind anderthalb Minuten eine recht gute Leistung. Müßte er in größeren Tiefen hastige und schwere Arbeit leisten wie die arabischen Perlenfischer Ceylons, würde er vermutlich an die von jenen erreichten Durchschnittszeiten nicht herankommen. Diese Leute gehen im Tag 20- bis 50 mal ins Wasser, und das oft viele Tage nacheinander oder mit wenigen Pausen. Der Rekordtaucher kann es sich leisten, bis zur äußersten Erschöpfung unten zu bleiben. Muß er doch nicht gleich wieder antreten, und kann er doch auf schleunige Hilfe rechnen, wenn er selbst nicht mehr hoch kann.

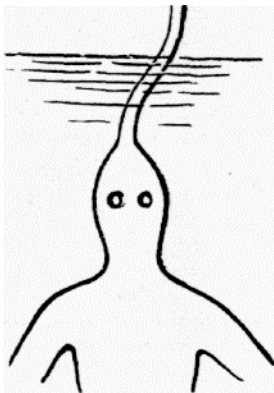
Professor Dr. Robert Stigler, Wien, hat eingehende Untersuchungen über das Nackttauchen angestellt, deren Ergebnisse er zum Teil im 55. Band der Schriften des „Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse“ niedergelegt hat. In seiner Gegenwart verblieb der Hamburger Meier, der schon seit acht Jahren als Kunsttaucher unter dem Artistennamen Aegir aufgetreten war, auf dem Grunde des Schwimmbassins des Beatrixbades in Wien, dessen größte Tiefe 2.5 m beträgt, nicht weniger als 3 Minuten 47 Sekunden. Er saß ruhig am Boden des Beckens und trank dabei Bier aus einer Flasche, was bei öffentlichen Schaustellungen besonderes Aufsehen zu erregen pflegte. Es muß hier bemerkt werden, daß man durch Schluckbewegungen den Drang zum Ausatmen stark zurückdämmen kann. 1927 weilte Dr. Stigler in Sfax an der tunesischen Küste, wo man ihm von den hervorragenden Leistungen der Schwammtaucher erzählte, die normalerweise „viele“ Minuten in großen Wassertiefen zu arbeiten imstande wären. Ein besonders tüchtiger Taucher wurde ihm vorgeführt. Er brachte es aber niemals auf anderthalb Minuten. Allerdings betrug die Tiefe 10 m. Über die größte Tiefe, die ein normaler Mensch beim Nackttauchen

erreichen kann, gibt eine Überlegung Aufschluß. Die Lunge eines kräftigen Mannes faßt in vollgepumptem Zustand etwa $4\frac{1}{2}$ Liter Luft, bei vollkommener Ausatmung aber immer noch einen Liter. Man darf somit im allgemeinen als Grenze der Tauchfähigkeit jene Tiefe annehmen, bei der infolge des Wasserdrucks die mit dem Höchstmaß von Luft erfüllte Lunge so zusammengepreßt wird, daß das Volumen der in ihr enthaltenen Luft nicht größer ist als an der Oberfläche im Zustand völliger Ausatmung. In freier Luft in Meereshöhe herrscht ein Druck von 1 at. Eine Wassersäule von 10 m übt gleichfalls einen Druck von 1 at aus. Das Volumen eines Gases ändert sich im umgekehrten Verhältnis zum Druck, unter dem es steht. So nimmt Luft unter 2 at Druck nur mehr den halben Raum ein wie unter einem solchen von 1 at. Wird also der Luftinhalt der Lunge von $4\frac{1}{2}$ Liter auf 1 Liter zusammengepreßt, so muß der Druck von 1 at auf $4\frac{1}{2}$ at, also um $3\frac{1}{2}$ at gestiegen sein. Das entspricht einer Wassertiefe von 35 m. Um diesen Zahlenwert herum liegen auch die bekannten von Nackttauchern erreichten größten Tiefen. Mit der Zunahme der Tiefe nimmt aber die Zeitspanne, während der man in ihr verweilen kann, und die Arbeitsfähigkeit sehr stark ab. Wie weit der einzelne Taucher gehen kann, hängt, völlige Gesundheit vorausgesetzt, von seiner allgemeinen Körperbeschaffenheit ab. Dr. Stigler ist auch der Begründer der Ansicht, daß hinsichtlich der Eignung zum Tauchen sehr große rassenphysiologische Unterschiede bestehen.

Gerättauchen

Aus dem Altertum sind ganz erstaunliche Taucherleistungen überliefert. Mögen die Grenzen der Leistungsfähigkeit infolge besonderer physiologischer Eignung noch so weit gezogen werden, jene sind entweder Fabel oder sie wurden unter Zuhilfenahme zumindest einfacher Geräte erzielt. Aristoteles berichtet, daß die Taucher einen Kessel mit sich unter Wasser nahmen. Näheres sagt er darüber nicht. Es kann aber damit wohl nur eine Art Taucherglocke gemeint sein, die ja nichts anderes ist als ein Kessel, der mit der Öffnung nach unten ins Wasser gehängt wird. Dieses steigt im Innern des Kessels so lange, bis die darin enthaltene Luft so weit zusammengedrückt ist, daß sie dem Wasserdruck das Gleichgewicht hält. Solange der Taucher mit dem Kopf im wasserfreien Dom des Kessels bleibt, kann er Luft atmen. Die Inder sollen kleine Einmannstaucherglocken verwendet haben, die gleich einem riesigen Helm über den Oberkörper gestülpt waren und Luft genug enthielten, um wohl für eine Viertelstunde oder auch eine halbe zum Atmen zu genügen. Setzt man das Vorhandensein eines solchen Gerätes voraus, so werden mit einem Male die alten Zeitangaben über Tauchdauer glaubhaft. Ein derartiges Gerät konnte diese bedeutend verlängern, war aber beim Arbeiten gewiß sehr hinderlich. Mit ihm durfte man sich nicht bücken, weil sonst die Luft entweichen wäre. Der Taucher mußte sich bei der Arbeit vorsichtig niederkauern.

Doch es ist ganz gut denkbar, daß sich die Alten auch großer Taucherglocken mit Raum für eine Anzahl Leute bedient haben. Sie hätten in derselben Weise Anwendung finden können wie heute. Sie wären Arbeitsplatz und Vorratskammer für die Atemluft in einem gewesen. Nackttaucher hätten von ihnen aus die nächste Umgebung absuchen, dort kurze Arbeit verrichten und wieder in sie zurückkehren können. Gegenüber dem Tauchen von der Oberfläche aus wäre nicht nur die für das jedesmalige Nieder- und Wiederhochtauchen erforderliche Zeit erspart worden. Die in der Taucherglocke befindliche Atemluft stand auch unter dem der Wassertiefe entsprechenden Druck. Der, wie bereits erwähnt, so starke Drang zum Ausatmen hätte dann nur in geringem Maße bestanden, weil ja annähernd Druckgleichgewicht zwischen Lunge und umgebendem Wasser bestand. Das sind aber alles lediglich Vermutungen, die man aufstellen

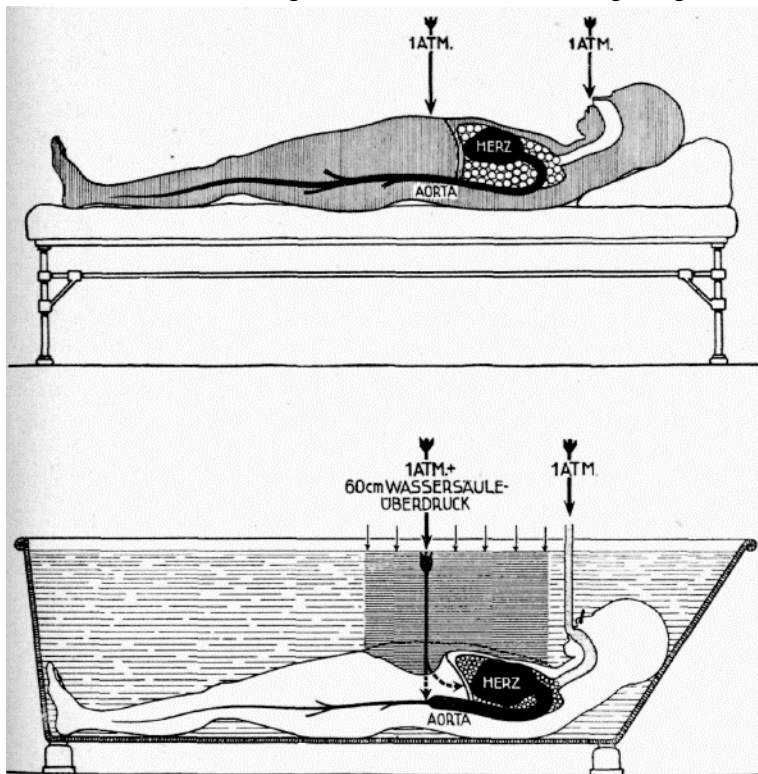


Schema eines altertümlichen Taucheranzuges mit unmittelbarer Verbindung mit der Außenluft. Typus einer praktisch nicht anwendbaren Methode des Gerättauchens

kann. Überliefert ist über die Art der Anwendung der Kessel so gut wie nichts. Wenn in mittelalterlichen Schriften gläserne Tauchertonnen abgebildet sind, in denen Menschen sitzen, so beweist das nur, daß deren Verfasser um das Vorhandensein von etwas Ähnlichem wußten, sich aber nicht die Mühe genommen oder nicht Gelegenheit gehabt haben, sich selbst zu überzeugen, wie das Ding in Wirklichkeit aussah. Dafür wird über andere Tauchgeräte eingehender berichtet.

Der oströmische Kaiser Mauritius (582—602) erzählt von seinen slawischen Untertanen, daß sie sich bei plötzlichen Überfällen unter Wasser flüchteten, und im Schilfdickicht auf dem Rücken liegend, durch im Mund gehaltene Rohre, die über die überfläche ragten, geatmet hätten. Taucheranzüge aus Leder mit einem gleichfalls bis zur Wasseroberfläche reichenden Atemschlauch finden sich in verschiedenen alten Bilderhandschriften aufgezeichnet, und auch von Leonardo da Vinci ist ein auf dem gleichen Grundsatz beruhender Entwurf auf uns gekommen. Auf den ersten Blick scheinen das ganz brauchbare Geräte zu sein, und von ihnen sagt auch Aristoteles etwas mehr. Er vergleicht sie mit dem Rüssel des Elefanten, der auch lange Zeit, durch diesen atmend, unter Wasser verbleiben könne. Die Sache hat aber einen Haken. Die von der überfläche her durch das Rohr eingeatmete Atemluft steht unter normalem Atmosphärendruck. Auf den unter Wasser befindlichen Körper wirkt aber der der Wassertiefe entsprechende ein. Es besteht somit eine Druckdifferenz, die sich in einem Zusammenpressen verschiedener Gefäße und Blutandrang zum Herzen auswirkt. Wieder verdanken wir Professor Dr. Stigler eingehende Untersuchungen über die daraus entspringenden Folgen. Bei seinen Versuchen verwendete er, um den Einfluß schlechter Luft auszuschalten, ein Rohr zum Einatmen der frischen, ein anderes zum Ausatmen der verbrauchten Luft. Lag die Versuchsperson in 60 cm Tiefe, so konnte sie 3 Minuten, in 90 cm Tiefe noch 1 Minute, in 1 m nur mehr eine halbe Minute, in 1½ m gar nur 6 Sekunden unter Wasser verweilen. Als er an sich selbst den Versuch in 2 m Tiefe anstellte, zog er sich binnen weniger Sekunden eine Herzdehnung zu, die ihn lange Zeit ans Bett fesselte. Mit dieser

Methode des Tauchens ist es also Essig, was aber bis vor kurzer Zeit nicht hinderte, daß Vorschläge für auf diesem Grundsatz beruhende Taucheranzüge bis zu den Patentämtern gelangten.



Schematische Darstellung der Stiglerschen Versuche über die Wirkung des Druckunterschiedes beim Tauchen unter Zufuhr von Luft mit Normaldruck

In alten Berichten ist auch von Unterseebooten die Rede, die wohl als Phantasiegebilde anzusehen sind, und von den sehr realen Schädigungen, denen die Taucher ausgesetzt sind. Man erfährt von Blutungen aus Nase, Mund und Ohren. Das deutet auf allzu langes Verweilen in größeren Tiefen hin, ebenso wie die Feststellung, daß Berufstaucher nur ein verhältnismäßig niedriges Alter erreichten. Die Ursachen der Schädigungen sind erst in neuerer Zeit genauer, aber lange noch nicht gründlich genug, erforscht worden. Sie seien gleich an dieser Stelle kurz

behandelt. Besonderes Verdienst hat sich der englische Arzt Haldane erworben, doch auch von anderer Seite wurden wertvolle Untersuchungen angestellt. Die Kenntnis der Ursachen der Gesundheitsschädigungen hat nicht nur ihre Verhütung und Bekämpfung erleichtert, sondern auch, seit ungefähr dem ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts, eine außerordentliche Steigerung der Tauchtiefe möglich gemacht.

Vorerst sei ein knapper Überblick über die Art der Geräte gegeben. Man unterscheidet Taucherglocken und Taucheranzüge. Bei beiden Arten solche, in deren Innern die Luft den gleichen oder um ein geringes höheren Druck besitzt, als er dem des Wassers in der erreichten Tauchtiefe entspricht (Taucherglocken und Taucheranzüge im engeren Sinn, Tauchretter), und solche, in denen Atmosphärendruck herrscht (Taucherkasten, Taucherpanzer, Unterseeboote). Mit Geräten der zweiten Gruppe arbeitende Taucher atmen Luft von der gleichen Beschaffenheit und von gleichem Druck, wie er im Freien in Meereshöhe herrscht. Es entfallen daher bei ihnen die schädigenden Einflüsse, die hier zur Besprechung gelangen sollen.

Der menschliche Körper besteht der Hauptsache nach aus Flüssigkeit, ist daher, ebenso wie Wasser, praktisch unzusammendrückbar. Der in der Tiefe herrschende höhere Druck kann ihm unmittelbar nichts anhaben; er wird auch vom Taucher kaum verspürt. Zusammendrückbar sind aber alle Luftein-schlüsse im Körper. Kann zwischen diesen und der im Gerät enthaltenen Luft kein unmittelbarer Austausch stattfinden, so drückt diese auf die abschließenden Wände, was Schmerzen hervorrufen kann. Das tritt zum Beispiel ein, wenn infolge von Schnupfen die Verbindung Ohr—Nase verstopft ist. Die Herstellung des Druckausgleichs kann man durch Schluckbewegungen unterstützen. Sein Gelingen zeigt sich durch ein Knacken im Trommelfell. Bleibt aber der Druck bestehen, so kann er bald ganz unendlich werden. Beim vollkommen gesunden Körper besteht zwischen den in Betracht kommenden Körperhöhlen und der im Gerät befindlichen Luft jederzeit Austauschmöglichkeit. Der Druck an sich würde somit kein Hindernis bieten, mit Geräten selbst in sehr große Tiefen hinabzugehen. In seinem grundlegenden Werk „Tauchertechnik“ gibt dessen Verfasser, Direktor Hermann Stelzner der Drägerwerke, diese Tiefe mit schätzungsweise 2000 m an. Dann dürfte jedoch der Druck Einfluß auf chemische Vorgänge im Innern des Körpers ausüben, die, weil sie anders vor sich gehen als unter Normaldruck, zu Schädigungen führen könnten. Tiere hat man in Laboratorien höheren Drücken ausgesetzt. Bei einem Frosch wird unter 400 at die mikroskopische Struktur der Gewebe bald zerstört. Das Tier stirbt unter 500 at binnen 10 Minuten.

Wenn nun ein Mensch auch einen Druck von 200 at auszuhalten vermöchte, so würde er doch unter diesem Druck stehende Luft nicht mehr atmen können. Die Lunge hat einen bestimmten Fassungsraum und eine bestimmte Oberfläche, die von Luft bestrichen werden muß, um sie von den vom Körper ausgeschiedenen Verbrennungsprodukten, vornehmlich der Kohlensäure und dem Wasserdampf zu reinigen. Zur gründlichen Durchführung dieser Ausspülung ist, unabhängig vom herrschenden Druck, stets dasselbe Luftvolumen nötig. Das mit jedem Atemzug aufgenommene Volumen an Frischluft schwankt je nach der Arbeitsleistung in weiten Grenzen, und beträgt nach Stelzner bei vollkommener Ruhe in der Minute 5 Liter, bei angestrengter Arbeit aber 17mal so viel. Damit ist ungefähr jene Atemleistung erreicht, zu der der Mensch überhaupt befähigt ist. Bei einem Druck von 17 at wiegen nun die zum Atmen notwendigen 5 Liter Luft auch 17mal so viel wie unter Normaldruck. Unter diesem Druck wird somit die gesamte Arbeitsfähigkeit schon durch das Atmen bei vollkommener Ruhe in Anspruch genommen. Da dieser Druck einer Tauchtiefe von 160 m entspricht, muß diese als Grenze für das Gerättauchen angenommen werden. Arbeit leisten kann man in dieser Tiefe nicht, nur beobachten. Damit der Taucher aber auch nur das kann, muß ihm Atemluft von anderer Zusammensetzung zugeführt werden als jener, die in der freien Atmosphäre herrscht. Dort besteht die Luft, abgesehen von Spuren anderer Gase, dem Volumen nach aus 78% Stickstoff, 21% Sauerstoff, 0,9% Argon und 0,05% Kohlensäure. Von diesen Gasen ist Sauerstoff für die Atmung notwendig, Stickstoff und Argon spielen lediglich die Rolle von Verdünnungsmitteln, Kohlensäure wirkt, wenn sich ihr Anteil über ein gewisses Maß steigert, auch unter Normaldruck schädlich. Aus großen Tiefen hochgekommene Taucher erkrankten an schweren Lähmungen, nicht wenige starben. Vor ungefähr einem halben Jahrhundert wurde der Stickstoff, von dem man es eigentlich nicht erwartet hatte, weil er chemisch sehr träge ist, als der Hauptübeltäter erkannt. Das hängt mit seiner mit zunehmendem Druck wachsenden Löslichkeit im Blut zusammen. Diese Eigenschaft ist um so heimtückischer, als beim Nieder-tauchen und beim Arbeiten in der Tiefe keinerlei hierdurch hervorgerufene Störungen eintreten. Sie machen sich erst beim, beziehungsweise nach dem Wiederhochtauchen bemerkbar. Sobald der Körper unter geringeren Druck gelangt, scheidet sich der im Blut gelöste Stickstoff in Form von Gasbläschen aus. Ein solches von Erbsengröße kann, ins Herz gelangt, den sofortigen Tod herbeiführen. Bis zu einem Druck von 2,3 at, was einer Tiefe von 13 m entspricht, bleibt der Stickstoff im Blut noch in der nunmehr übersättigten Lösung. Bis zu dieser Tiefe braucht

man somit auf die Gefahr der Stickstoffvergiftung keine Rücksicht zu nehmen. Wohl aber in größeren Tiefen. Wieder hat die Erfahrung gelehrt, daß man sich vor ihren Folgen durch langsames Hochtauchen schützen kann. Dadurch wird dem Stickstoff Zeit gelassen, langsam und ohne Blasenbildung aus dem Blut wieder auszutreten. Jetzt hat man durch eingehende Versuche genaue Regeln für das Auftauchen aus verschiedenen Tiefen zusammenzustellen vermocht.

Ist ein Taucher, unter Außerachtlassung dieser Regeln aus irgendeinem Grunde zu rasch hochgekommen, so wird er in einen Behälter gesteckt, den man unter den der Tiefe, in der gearbeitet worden war, entsprechenden Druck setzt und dann allmählich herabmindert. Auf diese Weise kann man in den meisten Fällen den Folgen der Stickstoffvergiftung vorbeugen. Auf Landstationen ist der Behälter ein großer fester Kasten, ähnlich den „pneumatischen Kammern“ zur Bekämpfung gewisser Krankheiten. Für den Bordgebrauch haben die Drägerwerke den sehr handlichen „Tauchersack“ geschaffen. Für den Taucher ist das langsame Austauchen aus großen Tiefen ungemein lästig, weshalb wider alle Vernunft die Regeln nach Möglichkeit umgangen werden. Bedenkt man, daß für jeden Meter eine Minute gerechnet werden muß, wird man dies begreiflich finden. Man war daher bestrebt, Mittel zur Beschleunigung des Hochtauchens ohne Gesundheitschädigungen zu finden. Ein solches ist stärkere Sauerstoffzufuhr. Reine Sauerstoffatmung kann man aber nur bis zu ungefähr 20 m Tiefe anwenden. In größeren Tiefen kann nämlich auch Sauerstoff nachteilige Wirkungen zur Folge haben. In der genannten Tiefe soll — für dreistündige Arbeitszeit gerechnet — der Sauerstoffgehalt nicht über 67% betragen. Bei 70 m darf er aber nicht einmal über 25% steigen. Das heißt, daß man von dieser Tiefe an dem Taucher ein künstliches Luftgemisch zuführen muß, das mit zunehmender Tiefe einen immer geringer werdenden Sauerstoffgehalt zu haben hat. Bei 120 m darf er nur mehr 15,4%, bei 150 m bloß 12,5% betragen. In ihm ersetzt man den Stickstoff vorteilhafterweise durch ein anderes, das Atmen nicht behinderndes Gas. Als solches hat von Schrötter zuerst Wasserstoff, dann Methan, den Hauptbestandteil der schlagenden Wetter, vorgeschlagen. Er konstruierte auch ein Gerät, das der Taucher zu Beginn des Hochtauchens in Betrieb setzt. Es führt ihm während des Hochtauchens ein Sauerstoff-Methan-Gemisch zu, dessen Zusammensetzung durch einen auf den Wasserdruck ansprechenden Regler selbsttätig der jeweiligen Wassertiefe angepaßt wird. Das Methan spült den überschüssigen Stickstoff aus, Neuestens wird nach dem Vorschlag von Dr. Gärtner, Wien, Helium als Stickstoffersatz verwendet.

Taucherglocke und Taucheranzug

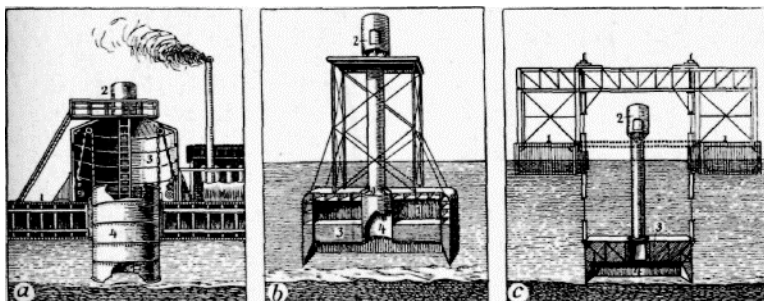
Bis in die Neuzeit hinein lassen sich nur solche Taucherglocken nachweisen, bei denen der sie benutzende Taucher mit dem in ihrem Innern mitgenommenen Luftvorrat sein Auslangen finden mußte. Dieser verschlechterte sich natürlich zusehends, Kohle-säurevergiftungen müssen daher an der Tagesordnung gewesen sein. Am 7. Oktober 1691 meldete der Astronom Halley ein Patent auf eine Taucherglocke an, deren Luft aus einem mitgeführten Faß erneuert werden konnte, und von der aus in besonderen Anzügen steckende Taucher die Umgebung absuchen konnten. Sie bezogen ihre Atemluft durch einen in der Glocke endenden Schlauch. Halley selbst verblieb mit drei Gefährten in einer solchen Glocke durch 1½ Stunden in 15 m Tiefe. Für die Praxis der Taucherarbeiten war durch die Halleysche Konstruktion viel gewonnen. Grundsätzlich unterschied sie sich aber nur wenig von ihren Vorläufern. Sie stellt gewissermaßen das Endglied einer Entwicklungsreihe dar. Den Übergang zu modernen Grundsätzen bildet die Taucherglocke von Spalding, der 1775 durch Anbringung von Lufthähnen ein Entweichen der verbrauchten Luft und ihren Ersatz durch frische, aber noch immer in Fässern mitgeführte, ermöglichte.

Eine völlige Umwälzung bedeutete die Einführung ständiger Lufterneuerung mit Hilfe einer Luftpumpe im Jahre 1788 durch Smeaton. Die Luftpumpe war an der Decke einer nur zum Teil in das Wasser ragenden Taucherglocke angebracht. Zwei Jahre später trennte er die Luftpumpe von der Taucherglocke, die nunmehr in beliebige Tiefen niedergelassen werden konnte. Die Luft wurde ihr von der Meeresoberfläche aus durch einen Schlauch zugepumpt. In den Grundzügen ist diese Konstruktion auch heute noch beibehalten. Die Konstruktion Smeatons aus dem Jahre 1788 erfuhr jedoch um 1850 eine wichtige Verbesserung durch Cavé, der beim Bau eines Stauwehrs im Nil erstmalig eine Taucherglocke mit Luftschleuse anwandte. Bei der normalen Taucherglocke steigt das Wasser in ihrem Innern bis zu einer der erreichten Tiefe entsprechenden Höhe. Der Arbeitsvorgang spielt sich größtenteils unter Wasser ab. Nur Kopf und Oberkörper der Arbeiter bleiben im Luftdom der Glocke. Da Wasser ungefähr 800 mal dichter ist als atmosphärische Luft, ist in ihm das Arbeiten sehr erschwert. Dem hat man dadurch abgeholfen, daß man die Taucherglocke ganz auf



Taucherglocke. Ältere Ausführung, deren grundsätzliche Einrichtung aber auch heute noch beibehalten ist

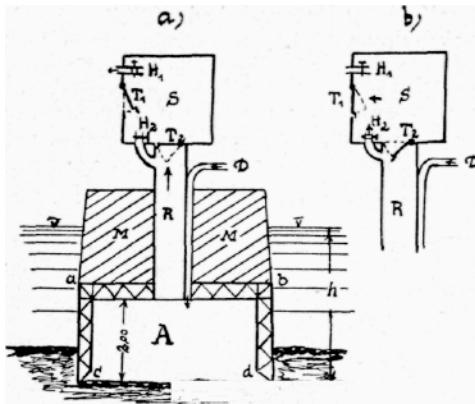
den Grund nieder und mit dem Unterrand der Seitenwände sich fest in den Grund einbohren läßt. Dann pumpt man Luft unter einem etwas höheren als dem unten herrschenden Wasserdruck ein, und vertreibt auf diese Weise das ganze Wasser aus dem Arbeitsraum. Da stets Luft entweicht, muß der Überdruck ständig aufrechterhalten werden. Die Arbeiten gehen nun rascher und leichter vonstatten, Diese Methode wird allgemein bei Herstellung von Bauwerken unter Wasser, wie beim Bau von Brük-



Die Entwicklung des Taucherschachtes, der für Unterwasserbauten dienenden Abart der Taucherglocke: a) erster Taucherschacht von Cavé 1850 (1 Tragschiff, 2 Luftschleuse, 3 fester Dom aus Eisenblech, 4 versenkbarer Schacht), b) Taucherglocke von Hersent 1879 (1 Schwimmkörper, 2 Luftschleuse, 3 Wasserballast, 4 Arbeitsraum), c) moderner Taucherschacht mit frei schwimmendem Traggestell (1 Schwimmkörper, 2 Luftschleuse, 3 Ballast, 4 Arbeitsraum)

kenpfeilern und dergleichen, angewendet. Da man mit Druckluft arbeitet, spricht man in solchen Fällen von Druckluftgründung. Da die Arbeiter in solchen Fällen unter starkem Druck arbeiten und atmen, sind sie allen damit zusammenhängenden Schädigungen ausgesetzt. Man bezeichnet diese nur mit einem anderen Namen als Tauchererkrankungen. Nach dem französischen und englischen Ausdruck für die verwendeten Taucherglocken (Caisson, zu deutsch Kasten), faßt man sie unter dem Sammelbegriff Caissonkrankheit zusammen.

Grundsätzlich besteht eine solche Taucherglocke aus dem Arbeitsraum und der Schleuse. Diese besitzt an ihrer Decke und an ihrem Boden je eine luftdicht schließende Türe. Durch die obere tritt die Arbeitspartie in die Schleuse ein, worauf die Türe geschlossen wird. Nun wird Luft in die Schleusenkammer so lange eingepumpt, bis der gleiche Luftdruck erreicht ist, der im unterhalb befindlichen Arbeitsraum herrscht, worauf die untere Türe geöffnet wird, durch die die Leute in diesen niedersteigen. Beim Schichtwechsel wird der umgekehrte Vorgang beobachtet. Jedoch wird zwecks Verhütung der Caissonkrank-



Schema einer Druckluftgründung unter Wasser.
 A Arbeitsraum, R Verbindungsschacht, S Luftschleuse,
 T₁ Türe zur Außenluft, T₂ Türe zum Verbindungsschacht
 H₁ und H₂ Ventile zur Druckregelung, M Mauerwerk

heit der Druck in der Schleusenkammer nur ganz allmählich verringert. Das entspricht dem langsamen Hochtauchen. Diese Luftschleuse war auch das Vor-

chersack. Zwischen

Schleuse und Arbeitskammer ist meist ein hoher Verbindungsschacht eingeschaltet, in dem der Druck der Arbeitskammer herrscht. Wird ausschließlich in dieser gearbeitet, so wird sie nach Beendigung der Arbeiten wieder hochgezogen. Bei der eigentlichen Druckluftgründung dient ihre Decke jedoch als Unterlage für Mauerwerk. Dann ist die Einrichtung so getroffen, daß der unten offene Arbeitskasten an dem die Mitte seiner Decke durchsetzenden Verbindungsschacht auf- und niedergleiten kann. Auf der Decke der Kammer wird — über Wasser — rings um den Verbindungsschacht, diesen nicht berührend, Mauerwerk aufgebaut, dessen Gewicht den Kasten immer tiefer drückt. In der Arbeitskammer wird unterdessen der Grund ausgehoben, bis man zu *einer* tragfähigen Schicht gelangt ist. Hierauf wird die ganze Arbeitskammer ausbetoniert. Ist das geschehen, zieht man den Verbindungsschacht heraus. Der nun verbleibende Hohlraum, der durch das umgebende Mauerwerk gegen Zufluß von Wasser geschützt ist, wird sodann auch ausgefüllt. Die Beförderung des Erdaushubs nach oben besorgt man meist mit einer zweiten Schleuse, die von der für den Schichtwechsel der Arbeiter dienenden unabhängig ist. Taucherglocken aller Art sind sehr schwerfällige Geräte. Ihre Anwendung ist auch verhältnismäßig kostspielig. Vor allem sind sie für viele Arbeiten ungeeignet, weil man an den Arbeitsplatz mit ihnen nicht herankann. Man war daher bestrebt, die Vorteile der Taucherglocke mit jenen des Nackttauchens zu verbinden. Nach der Einführung der Luftpumpe in die Tauchpraxis war nur mehr ein Schritt zur Schaffung des Drucklufttaucherapparates. Diesen wagte man aber lange nicht zu tun, weil ein Versagen der Luftpumpe den Ertrinkungstod des Tau-

chers nach sich ziehen mußte. Die Abstammung derartiger Tauchgeräte von der unten offenen Taucherglocke zeigt deutlich das des Amerikaners Hall aus dem Jahre 1810. Es ist ein Mittelding zwischen Einmannstaucherglocke und Taucheranzug. Dieser ist sozusagen ein vollkommen geschlossenes Zelt. Die Luftzufuhr erfolgt mittels Blasebalgs von einem Boot aus. Das Gewicht des schweren Schutzmantels trägt nicht der Taucher, sondern ein vom Boot ausgehendes Seil. Vor ihm hat 1797 der Deutsche Klingert einen Anzug konstruiert, bei dem die Lufterneuerung bereits durch eine Pumpe bewirkt wurde. Ein- und Ausatmen erfolgte durch getrennte Schläuche. Eine Reihe von Konstruktionen bezeichnet den weiteren Entwicklungsgang. 1850 stellte sich Cabirot mit einem Anzug ein, der mit einem am Rücken zu tragenden Behälter ausgerüstet war, der durch die Pumpe stets mit Luft von etwas höherem Druck als jenem des umgebenden Wassers gefüllt erhalten blieb. Er gab seinem Gerät den Namen Skaphander (von griech. skaphe, Boot und anér, andrós, Mann), den man heute vielfach für Taucheranzüge im allgemeinen anwendet. Bald darauf entstand bei der von A. Siebe gegründeten Londoner Firma, die schon 1817 den ersten geschlossenen Taucher-

Taucheranzug (Schlauchgerät), Luft wird von oben her zugepumpt. Ist die weitest verbreitete Form des Taucheranzuges, in letzter Zeit immer mehr durch schlauchlose Geräte (Luft- oder Sauerstoffvorrat wird in Flaschen mitgeführt) verdrängt. Der Luftdruck im Innern des Anzugs ist gleich dem Wasserdruck der Umgebung

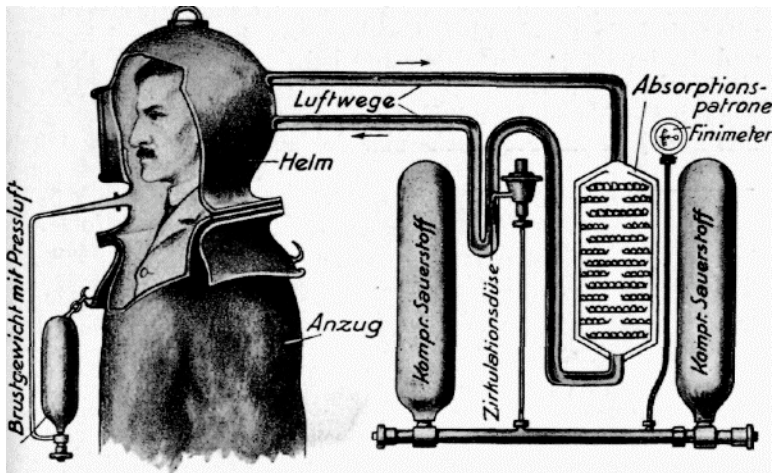


anzug herausgebracht hatte, ein Tauchgerät, bei dem fast alle heute noch geltenden Konstruktionsprinzipien verwirklicht sind. Es besteht aus einem wasserdichten Gummianzug, in den der mit dicken Wollsachen bekleidete Taucher durch ein dehnbares Gummihalsstück hineingezwängt wird. Dieses wird mit der Helmplatte, diese wieder mit dem Helm verschraubt. Die Luft tritt durch ein Rückschlagventil in den Helm, in dem frei geatmet wird, ein, durch ein an ihm befindliches Überdruckventil aus. Schwere Bleisohlen an den Schuhen, Bleigewichte an Brust (Taucherherz) und Rücken sorgen für den Gewichtsausgleich unter Wasser, so daß der Taucher ohne besondere Mühe sich bücken und niederknien kann. 1865 erfanden dann die Franzosen Rouquayrol und Denayrouze einen Anzug, bei dem die Atemluft stets frei von Kohlensäure bleibt. Dies wird erreicht durch Ausnutzung des Atemvorgangs zur Steuerung von Luftventilen.

Der Taucher trägt am Rücken zwei durch Ventil verbundene Tornister mit Kammern. Die obere Kammer ist durch eine Kautschukplatte gegen das Wasser abgeschlossen, durch einen kurzen Schlauch, den der Taucher in den Mund nimmt, mit dem Taucherhelm verbunden. Dieser Schlauch trägt ein Rückschlagventil. Die Luft wird in die obere Kammer eingepumpt. Beim Einatmen wird der Druck in der oberen Kammer vermindert. Die Kautschukplatte biegt sich nach unten, das Ventil zur unteren Kammer öffnet sich, unverbrauchte Luft tritt aus ihr unter Druck aus und wird durch den Schlauch in den Mund des Tauchers gesaugt. Das im Schlauch angebrachte Rückschlagventil bleibt geschlossen. Beim Ausatmen öffnet sich dieses, zugleich biegt sich die Kautschukplatte nach außen, das Ventil, zwischen den beiden Kammern schließt sich. Dadurch wird eine Vermischung von frischer mit verbrauchter Luft vermieden, die durch das Ventil im Schlauch austritt, Normal erfolgt Ein- und Ausatmen durch den Mund, Will der Taucher den Anzug aufblasen, so atmet er dauernd durch die Nase aus, oder läßt, was man nicht tun soll, aber oft tut, das Mundstück einfach aus dem Mund fallen. In Einzelheiten weitgehend verbessert, ist dieser Gerättyp der am weitesten verbreitete. Bei den Drägerschen Anzügen dieser Art sind an dem bleiernen Brustgewicht auch noch Stahlflaschen mit Preßluft angebracht, die durch dicke kurze Schläuche in den Helm münden. Das gibt dem Taucher eine Luftreserve, die ihm ein Atmen auch bei verklemmtem Schlauch, und das Hochschwimmen auch unter dessen Preisgabe ermöglicht.

Vor den Schlauchgeräten mit Luftpumpe standen schlauchlose

in Gebrauch, die erst in neuerer Zeit, und selbstverständlich in ganz abgeänderter Ausführung, wieder zu Ehren kommen. Grundsätzlich wird bei ihnen der Luftvorrat in die Tiefe mitgeführt. Die erste Kunde von einem derartigen Gerät bringt ein assyrisches Relief des British Museums aus dem Jahre 885 vor Christo. Es zeigt einen schwimmenden Krieger, der unter seiner Brust



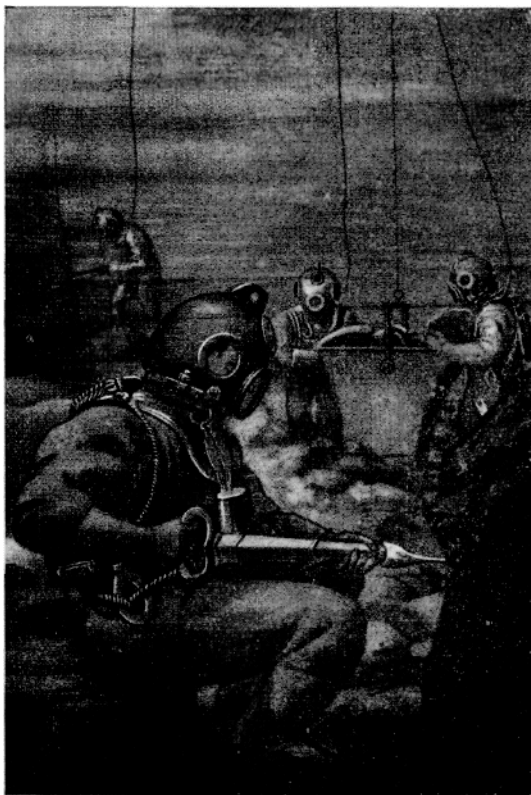
Schematische Darstellung der Luftversorgung beim schlauchlosen Taucheranzug

einen mit Luft gefüllten Lederschlauch trägt, dessen schmale Mündung er im Munde hält. In „The Engineers and Mechanics Encyclopaedia“ von Luke Herbert, London 1837, ist ein Tauchapparat von W. H. James beschrieben, bei dem der Luftvorrat in Gestalt von Preßluft in spiralig um den Körper gewundenen Rohren mitgeführt wird. Sie tritt durch einen Gummischlauch mit vom Taucher bedientem Regelventil in den Helm ein. Das Einatmen geschieht frei, Das Ausatmen erfolgt über das Mundstück eines Schlauches, das die verbrauchte Luft durch ein an der Helmkrone angebrachtes Ventil in die Luft entweichen läßt. Bei unachtsamer Atmung kann eine Vermischung von Luft mit Kohlensäure nicht vermieden werden. Eine wichtige Verbesserung war daher die selbsttätige Reinigung der Atemluft auf chemischem Wege, Sie ist dem Russen Khotinsky (1881) zu verdanken. Sein Apparat enthält schon alle Grundzüge der modernen Geräte dieser Art, wie sie unter anderm vom Drägerwerk

in Lübeck seit 1909 zu großer Vollkommenheit entwickelt wurden. Statt Preßluft wird Sauerstoff in Flaschen mitgeführt. Der aus ihnen austretende Sauerstoff betreibt über ein Reduzier-ventil einen Injektor, der die verbrauchte Luft aus dem Helm absaugt und sie zwingt, ihren Weg durch eine Kalipatrone zu nehmen, in der die Kohlensäure zurückbleibt. Die so gereinigte Luft gelangt nun wieder in den Helm. Für große Tiefen wird der Sauerstoff durch Preßluft ersetzt. Verwandt mit diesen Geräten sind die Tauchretter, die ohne Anzug verwendet werden, und die im Bergwerksbetrieb und bei der Feuerwehr üblichen Gastauchapparate.

Die Grenze, bis zu der mit Taucheranzügen hinabgegangen werden kann, ist für Freitauch- und Schlauchgeräte grundsätzlich

dieselbe. Nach Stelzner kann man folgende Abstufungen als geltend ansehen. Bis 13 m Tauchen ohne besondere Vor-sichtsmaßregeln. Bis 40 m, unter genauer Beobachtung der Auf-tauchregeln 2 bis 3 Stunden Schwerarbeit, in 90 m ebenso lange Leichtar-beit möglich. Von 20 m ab Zufuhr eines der Tiefe entsprechend ge-regelten künst-lichen Luftgemi-sches, unter Er-satz des Stick-stoffes durch ein anderes Gas, mit Vorteil Helium,



Taucher mit Preßluft-
werkzeugen. Im Hin-
tergrund Förderkorb

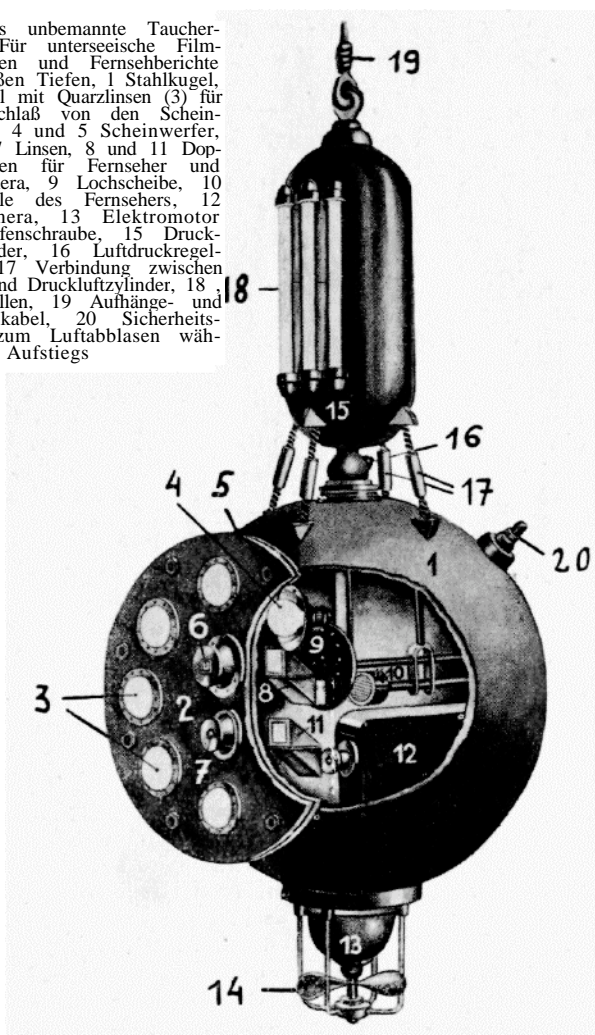
empfehlenswert. In 120 m Beobachtung ohne Arbeitsleistung durch mehrere Minuten bei Atmung von Luft mit 21% Sauerstoff, bei 160 m bei Atmung von solcher mit 12,5% Sauerstoff möglich. Der Fortschritt der modernen Technik hat dem Taucher eine ganze Reihe von Mitteln in die Hand gegeben, die seine Arbeit ungleich wirkungsvoller gestalten als noch vor wenigen Jahren. Wasserdichte elektrische Lampen spenden ihm reichlich Licht, Unterwasserschneidapparate und Niethämmer vervielfachen seine Leistungsfähigkeit und befähigen ihn, Arbeiten durchzuführen, die man früher überhaupt nicht in Angriff nehmen konnte. Durch die Ausgestaltung der schlauchlosen Geräte ist ein bedeutendes Gefahrenmoment in Fortfall gekommen, das Verklemmen des Schlauches, das schon viele Opfer gefordert hat. Beim Arbeiten im Innern eines Wracks kann so etwas sehr leicht eintreten. Aber auch bei anderen Arbeiten können sich ähnliche Unfälle ereignen.

Taucherkasten und Panzertaucher

Den mit den bisher besprochenen Tauchgeräten erreichbaren Tiefen ist die im vorigen Abschnitt behandelte Grenze gesetzt. Um sie überschreiten zu können, muß man den Wasserdruck von der Einwirkung auf die Atemluft vollständig abhalten, indem man ihn durch eine starre Hülle aufnehmen läßt. Dann kann man im Innern des Gerätes jeden beliebigen Luftdruck anwenden, auch den atmosphärischen, einerlei, in welcher Tiefe man sich befindet,

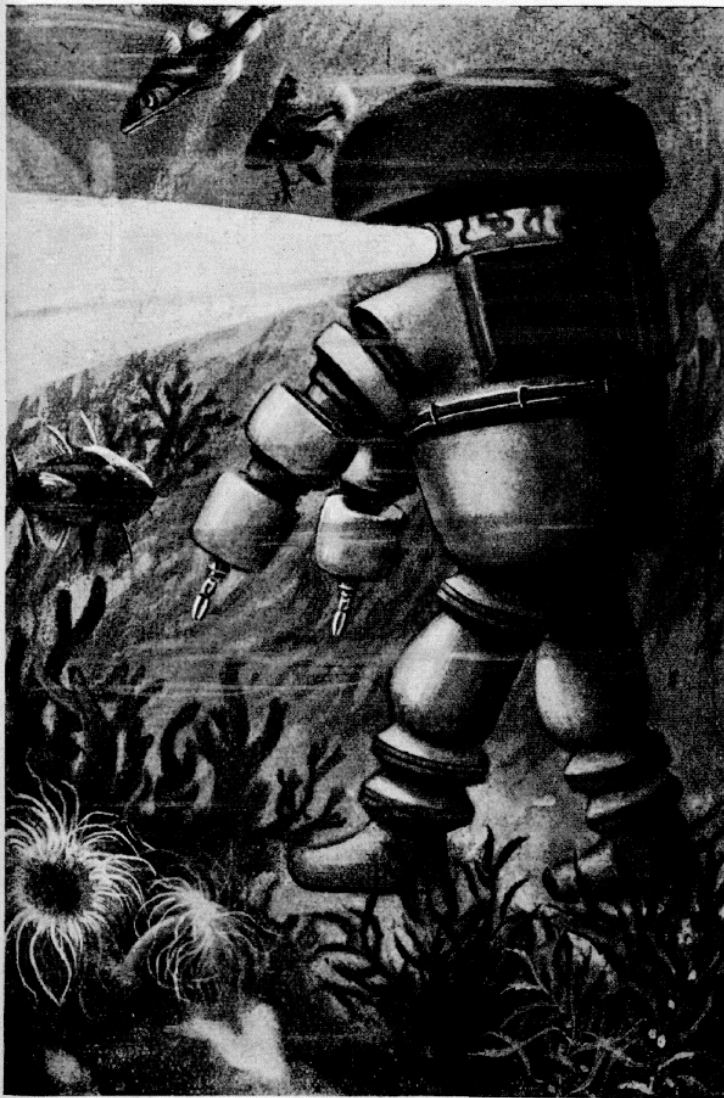
Im Jahre 1849 wurde den Amerikanern Richards und Wolcott eine Tauchkugel patentiert, die mit von innen zu bedienenden Werkzeugen ausgerüstet war. Der Austausch der Luft erfolgte durch bis über die Wasseroberfläche geführte Schläuche. Gegen Ende der achtziger Jahre bauten die Genueser Ingenieure Toselli, Vater und Sohn, einen Taucherkasten für wissenschaftliche Forschungszwecke, mit dem sie tatsächlich die damals unerhörte Tiefe von 70 m erreichten. Bis zu den erhofften Tiefen von 500 m oder gar 1000 m vermochten sie nicht hinabzugelangen. Der damalige Stand der Technik gestattete noch nicht, die erforderliche Druckfestigkeit an den Dichtungsstellen, zum Beispiel an den Fenstern, zu erreichen. Von den Taucherkasten der letzten Jahre sei der annähernd kugelförmige von Sisson erwähnt, der mit Haftmagneten versehen ist, um ihn an den Wänden gesunkener Schiffe befestigen zu können. Im Jahre 1931 bauten die Atlas Steel Casting Co. und Watson Stillman Co. in USA. eine Tauchkugel aus Stahl für Tiefen von 500 m. Sie hat 1,25 m Innendurchmesser und bietet Raum für zwei Personen in sitzender Stellung. Ihr Gewicht mit Insassen und Ausrüstung beträgt 3300 kg. Mit ihr haben die Naturforscher William Beebe und Otis Barton 460 m Tiefe erreicht. Einige Jahre vor ihnen hat der amerikanische Tiefseeforscher Dr. Hans Hartman einen zylindrischen Taucherkasten von Krupp in Essen bauen lassen, der einem Druck in 1500 m Tiefe standhalten kann. Bisher wurden aber mit ihm nur verhältnismäßig geringe Tiefen aufgesucht. Dieser Tauchzylinder besaß ein Abfallgewicht, das ihn schwerer als Wasser machte. Im Fall des Reißens des Halteseils konnte es von innen aus gelöst und dadurch ein Hochsteigen des Kastens bewirkt werden. Seither hat Hartman ein neues Gerät ausgedacht, das ohne Besatzung in die Tiefe gelassen werden soll. Um in möglichst große Tiefe zu gelangen,

Hartmans unbemannte Taucherkugel. Für unterseeische Filmaufnahmen und Fernsehberichte aus großen Tiefen, 1 Stahlkugel, 2 Deckel mit Quarzlinsen (3) für Lichtdurchlaß von den Scheinwerfern, 4 und 5 Scheinwerfer, 6 und 7 Linsen, 8 und 11 Doppelprismen für Fernseher und Filmkamera, 9 Lochscheibe, 10 Photozelle des Fernsehers, 12 Filmkamera, 13 Elektromotor für Tiefenschraube, 15 Druckluftzylinder, 16 Luftdruckregelventil, 17 Verbindung zwischen Kugel und Druckluftzylinder, 18 Lichtquellen, 19 Aufhänge- und Leitungskabel, 20 Sicherheitsventil zum Luftabblasen während des Aufstiegs

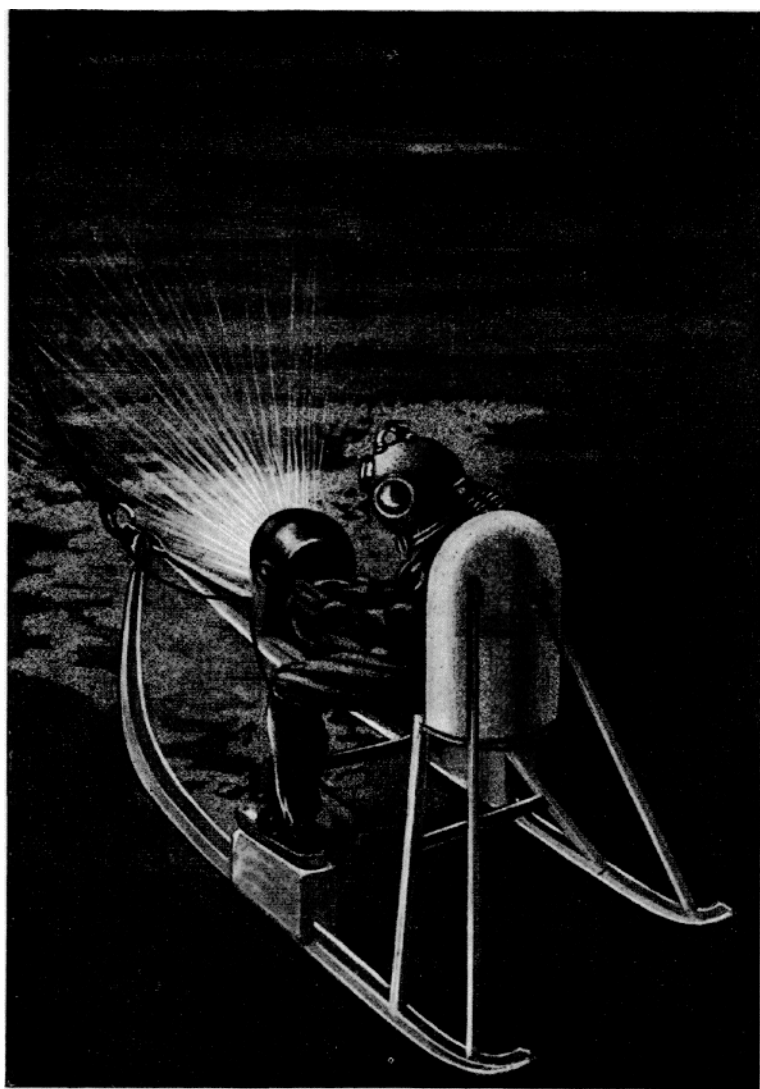


soll es im Innern unter hohen Druck gesetzt werden, um die Außenwände zu entlasten. Es hat annähernd Kugelform. Seitlich ist ein Deckel angeschraubt, in den eine Anzahl kreisförmig angeordneter Quarzlinsen eingesetzt sind, durch die das Licht kräftiger, mit Reflektoren versehener Lampen ins Wasser dringt.

Zwei in der Mitte des Deckels angebrachte Linsen lassen das Bild der Umgebung über je ein Doppelpisma zu einem Fernsehapparat und einer Filmaufnahmekamera gelangen. Das ferngesehene Bild, das bloß grobe Umrisse zu zeigen braucht, wird in einer verdunkelten Kabine des Begleitschiffes gegen eine Projektionswand geworfen. Zeigt sich dort ein interessantes Objekt, zum Beispiel ein Fisch, so wird durch Druck auf einen Knopf die Ablaufvorrichtung der Kamera in Betrieb gesetzt, durch einen zweiten Druck wieder abgestellt. Oberhalb der die Apparate enthaltenden Kugel ist ein großer Stahlzylinder angeordnet, von dem aus über durch den Wasserdruck gesteuerte Reduzierventile Druckluft in die Stahlkugel gepreßt wird, um den Druckausgleich zwischen Innen und Außen herzustellen. Dieser Zylinder ist außerdem der Träger eines starken Scheinwerfers zur weiteren Aufhellung der Umgebung. Das Gerät ist leichter als Wasser. Es wird durch eine elektrisch betriebene, am unteren Ende angebrachte Schiffsschraube in die Tiefe gezogen. Alle Zuleitungen sind mit dem Haltetau vereinigt. Sollte dieses völlig abreißen, so könnte dessen unterer Teil das ganze Gerät in die Tiefe ziehen. Dem wird durch eine elektromagnetische Kuppelung vorgebeugt, die den Oberteil des Kabels mit dem kurzen, unmittelbar über der Stahlkugel endenden unteren verbindet, und sich bei Stromunterbrechung löst. Alle diese Taucherkasten gestatten zwar die Anstellung von Beobachtungen in Tiefen, in die man auf andere Weise nicht hinabgelangen kann, nicht aber die Durchführung von Arbeiten. Um diese zu ermöglichen, bedarf es der Anbringung von Werkzeugen, die von Innen aus bedient werden können. Am Anfang der Entwicklung solcher „Panzertauchgeräte“ steht wohl der Taucherschacht der Amerikaner Short und Bradford aus dem Jahre 1830. Er führt als starres weites Rohr bis über die Wasseroberfläche, Unten endet er in einen druckfest gedachten Panzer, der den Körper des Tauchers soweit zu schützen hat, daß seine Lungentätigkeit nicht beeinträchtigt wird. Arme und Beine stecken gleichfalls in Panzerärmeln und Bein Kleidern. Eine Reihe von Erfindungen, über deren praktische Anwendung aber nichts bekannt ist, leiten zu den eigentlichen Panzergeräten über, die nach Art der Ritterrüstungen mit beweglichen Gelenken versehen sind. Die Hauptschwierigkeit ergibt sich bei ihnen in der wirksamen Abdichtung der Gelenke. Eines der ältesten stammt aus dem Jahre 1838. Da sein Erfinder, der Amerikaner W. H. Taylor, Hände und Füße nur durch Leder schützt, wirkt auf diese der volle Wasserdruck. Philips Panzertaucher aus dem Jahre 1856 hat darauf Rücksicht genommen, und sie in Panzer eingeschlossen. Außen sind von



Galls Panzertauchrüstung. Typus der Tieftauchapparate. Der Panzer ist vollkommen druckfest (gleicher Grundsatz wie beim Taucherkasten). Der Druck im Innern der Rüstung ist unabhängig vom Wasserdruck. Erreichbare Tiefe nur durch die Festigkeit des Gerätes (besonders an den Gelenken) begrenzt.



Taucherschlitten

innen zu bedienende Werkzeuge angebracht. Äußerlich und dem Konstruktionsgedanken nach ist dieses Gerät dem der hanseatischen Apparatebau-Gesellschaft, dem ersten praktisch brauchbaren Panzertauchgerät, nahe verwandt. Es stammt aus dem Jahre 1913. Mit einer Neukonstruktion dieser Art, die mit allen bekannten Hilfsmitteln der modernen Tauchertechnik ausgestattet ist, wurden im Walchensee 160 m Tiefe erreicht. Bei den Versuchen, das englische Unterseeboot „M 1“ zu bergen, soll man noch tiefer gelangt sein. Das Auftauchen aus 160 m nahm nur 4½ Minuten in Anspruch, gegen mehrere Stunden, die man mit einem Gummianzug gebraucht hätte. Das aus Leichtmetall gebaute Gerät wiegt 475 kg. Das mit Walzengliedern versehene Gerät des Amerikaners Macduff wiegt 275 kg; die größte erreichte Tiefe betrug 65 m. Mit einem aus Bronze hergestellten Panzergerät soll der Mexikaner Campos 185 m Tiefe erreicht haben. Mit einem deutschen Panzertauchgerät ist man sogar bis auf den Grund des Bodensees — 250 m — hinabgelangt. Man hält gegenwärtig sogar die Erreichung der doppelten Tiefe bereits für möglich.

Taucherkasten und Panzertaucher sind naturgemäß ungleich schwerfälligere Geräte als Drucklufttaucheranzüge, bei denen man mit der Hand unmittelbar zugreifen kann, während bei jenen nur ein Einstellen von Werkzeugen vom Innern des Gerätes aus möglich ist. Es ist daher anzunehmen, daß auch in Zukunft bis zu Tiefen von ungefähr 100m der Drucklufttaucheranzug weiter das Feld beherrschen wird, da erst von dieser Tiefe an die Beschwerden des Atmens so groß werden, daß sie den Vorteil der freien Verwendbarkeit der Hand aufwiegen. Ganz abgesehen davon, daß die Verwendungskosten von Taucherkasten und Panzertauchern selbstverständlich viel höhere sind.

In neuerer Zeit hat man zur rascheren Fortbewegung von am Grunde arbeitenden Tauchern allerlei Transportmittel ersonnen. So für Anzugtaucher den Drägerschen Taucherschlitten, der vom Begleitschiff an einer Leine nachgeschleppt wird, der aber für Schlauchgeräte wohl nur unter Aufwendung großer Vorsichtsmaßregeln verwendet werden kann, also hauptsächlich ein Gerät für Freitaucher ist. Für die Taucherkasten und Panzertauchgeräte liegen Konstruktionen vor, die diese zu unterseeischen Kraftwagen mit elektrischem Antrieb machen. Das leitet über zu den unterseeischen Fahrzeugen, die im Wesen nichts anderes sind als Taucherkasten mit selbständiger Eigenbewegung.

Tauchboote

In einem 1476 erschienenen Werk des Italieners Valturio ist ein ungefähr im Jahre 1460 entstandener Entwurf eines Unterseebootes von Zigarrenform veröffentlicht, das durch Schaufelräder angetrieben wird. 1578 hat der Engländer Bourne ein Unterseeboot so eingehend beschrieben, daß ein zeitgenössischer Schiffbauer wohl imstande gewesen wäre, es zu bauen. Die Vermutung ist nicht von der Hand zu weisen, daß Bourne selbst Versuche mit einem solchen Fahrzeug oder einem Modell angestellt hat.

Damit ein Fahrzeug gänzlich untergetaucht schwimme, muß sein Auftrieb aufgehoben werden. Das kann auf zweierlei Weise geschehen. Erstens dadurch, daß man das Gewicht des Fahrzeuges derart regelt, daß es dem der von ihm verdrängten Wassermenge vollkommen gleich wird. Das ist die statische Methode. Zweitens dadurch, daß man den vorhandenen Auftrieb durch Anwendung von Kräften überwindet, das Fahrzeug also unter Wasser drückt. Das ist die dynamische Methode. Verwendet werden beide nebeneinander.

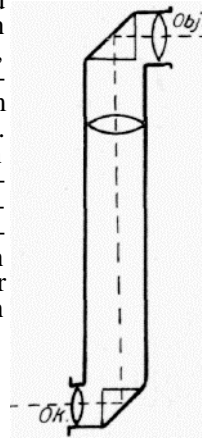
Zur Regelung des Gewichtes sind große Wasserballastkammern eingebaut, die mittels Pumpen rasch gefüllt oder entleert werden können. Will man schnell untertauchen, so nimmt man mehr Wasser ein. Einen gewissen Auftrieb läßt man aber unter allen Umständen auch dann bestehen, da sonst ein Niedersinken bis zu einer Tiefe eintreten könnte, in der die Bordwände dem Wasserdruck nicht mehr standhalten können. Der restliche Auftrieb wird durch entsprechende Stellung der Tiefensteuer überwunden, die umgekehrt wie die Höhensteuer eines Lenkluftschiffes wirken, das ja genau das Gegenstück des Unterseebootes ist. Ein Steuer ist nur dann wirksam, wenn darauf ein Druck ausgeübt wird. Diesen verschafft man sich durch Vorwärts- oder Rückwärtsarbeiten mit der Maschine. Das Tauchmanöver wird also dynamisch ausgeführt. Das Austauschmanöver kann dagegen auch rein statisch erfolgen, indem man den Wasserballast verringert. Ein sich selbst überlassenes getauchtes Unterseeboot würde übrigens, wegen des stets vorhandenen Auftriebs, und wäre dieser auch sehr gering, allmählich wieder hochsteigen. Das Hochsteigen kann durch Fallenlassen von außenbords angebrachten Gewichten im Notfall beschleunigt werden. Auf modernen Fahrzeugen wendet man solche nicht an, da man in der

Lage ist, große Mengen von Wasserballast durch Preßluft in sehr kurzer Zeit auszublasen.

Größte Sorgfalt muß auf die richtige Gewichtsverteilung im Boot aufgewendet werden, damit es sich nicht, wenn es unter Wasser fährt, auf den Kopf stellt oder nach achtern zu absackt. Im Bootsinnern herrscht normaler Luftdruck, Die Atemluft wird immer wieder gereinigt, z. B. nach demselben Grundsatz, nach dem dies bei den Drägerschen schlauchlosen Taucheranzügen geschieht. Nur daß im U-Boot die Luftreinigung gleich für das ganze Boot erfolgt. Von Zeit zu Zeit oder ständig wird frischer Sauerstoff aus unter hohem Druck stehenden Stahlflaschen bezogen.

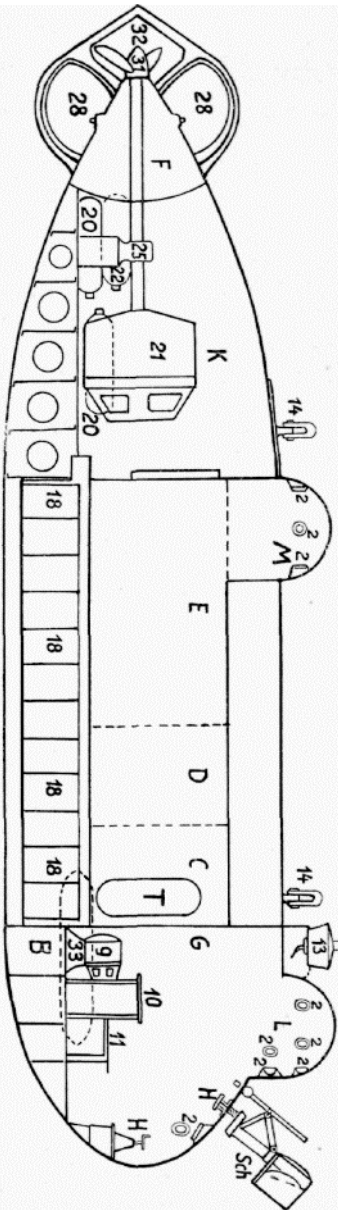
Die Unterseeboote waren während der Fahrt in getauchtem Zustand völlig blind, bis ihnen Telar van Elven, Amsterdam, 1859, durch die Erfindung des Sehrohrs oder Periskops (von griech. peri, herum und skopein, schauen) sozusagen den Star stach. Er entwarf ein Unterseeboot, von dem aus ein Rohr über Wasser auftrug, dessen oberes und unteres Ende einander zugekehrte, schiefgestellte Spiegel trugen. Diese Erfindung ist weiter verbessert worden, und hat zum Scherenfernrohr und den verschiedenen Arten von Sehrohren für Unterseeboote geführt. Es sind durchwegs Prismenfernrohre mit gebrochener Sehachse, die mittels besonderer Vorrichtungen gehoben und gesenkt werden können. Man verwendet allgemein nebeneinander zwei Arten des Sehrohrs, Das eine ist ein normales gebrochenes Fernrohr, das man um seine senkrechte Achse um volle 360° verdrehen kann, Es dient zur scharfen Beobachtung eines Teiles der Umgebung. Die zweite Art kann mehr leisten als das Auge. Es ist ein wirkliches Rundsehrohr. Objektiv und Okular bestehen aus Prismenringen. Man blickt aber nicht unmittelbar in das Okular, sondern dieses wirft ein Bild auf den Beobachtungstisch. Dieses Bild zeigt in einem kreisrunden Streifen den ganzen Horizont. Meist ist in dieses Sehrohr eines der ersten Art derart eingebaut, daß auf dem Beobachtungstisch der von diesem aufgenommene Ausschnitt des Horizontes in Vergrößerung und mit größerer Schärfe neben dem Rundbild erscheint. Behufs genauer Orientierung blickt man unmittelbar durch ein Sehrohr der ersten Art.

Schema des Sehrohrs für Unterseeboote (Periskop). Obj. Objektiv. Ok. Okular. (Gleiche grundsätzliche Bauart wie das Scherenfernrohr)



Für das moderne Unterseefahrzeug ist die Fahrt über Wasser genau so wichtig wie die unter Wasser. Im Interesse seiner Seetüchtigkeit muß es bei jener ziemlich hoch über den Meeresspiegel aufragen, um weite Strecken zurücklegen zu können, und eine kräftige Maschine besitzen. Die für die Unterwasserfahrt praktisch allein verwendbaren, von Akkumulatoren gespeisten Elektromotore sind dieser Aufgabe nicht gewachsen. Daher baut man für die Überwasserfahrt eine zweite Maschinenanlage, meist Dieselmotore, ein, die auch die Aufladung der Akkumulatoren zu besorgen haben. Die Überwasserfahrt ist das normale. Deshalb nennt man diese Fahrzeuge Tauchboote, zum Unterschied von den heute so gut wie ausgestorbenen eigentlichen Unterseebooten, bei denen die Unterwasserfahrt als normal galt.

Unterseefahrzeuge sind in erster Linie Kriegsmittel. Doch auch für Forschungszwecke lassen sie sich verwenden. Diesen Gedanken hat insbeson-



Unterseeboot für Forschungswecke (Konstruktion Dr.-Ing. Marcell Klein). 2, 2 Fenster, G Schiffsführungs- und Forscherraum, 9 Pumpe, 10 Standplatz des Kommandanten, 11 Standplatz für Forscher, H Handräder für Scheinwerferbedienung, Sch Scheinwerfer, 33 Fallkiele (außenbord), 13 Telefonboje, B vorderer, F achterer Trimmtank, C Taucherschleusen, T Taucherschleusentore, D Hilfstank, E Hauptballasttanks, (C, T, D, E sind symmetrisch an beiden Bordseiten angeordnet, Durch die Längsmitte des Bootes führt ein Verbindungsgang von G nach K), K Maschinenraum, L vorderer, M achterer Turm, 18, 18 Akkumulatoren, 21 Hauptelektromotor, 22 auf einer Bordseite Kompressor, auf der anderen Pumpe, 25 Drucklager, 20 Luftflaschen, 28 Steueruder, 31 Schiffsschraube, 32 Schutzritter für Schiffsschraube, 14 Augen zum Einhalten von Flaschen zum Hochheben des Bootes

dere der amerikanische Unterseebootsbauer Simon Lake verfochten. 1895 stellte er mit einem hölzernen, bloß 4½ m langen Unterseeboot, das mit drei Rädern zum Fahren auf dem Grunde versehen war, günstig verlaufene Versuche an. Später baute er ein 59 t großes Unterseeboot aus Stahl, das jenem nachgebildet war. Es hatte ebenfalls Räder, außerdem eine Kammer zum Ausschleusen von Tauchern.

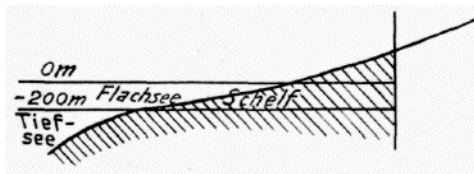
Ein mit allen Feinheiten der bis dahin weit fortgeschrittenen Tauchboottechnik ausgestattetes Forschungsunterseeboot wurde vom Rittergutsbesitzer Dr. Paul Schottländer, einem Liebhaberzooologen, der die zoologische Station in Rovigno in Istrien gekauft und der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zum Geschenk gemacht hatte, für diese bei der Firma Whitehead kurz vor dem Kriege in Auftrag gegeben. Er teilte seine Ideen dem österreichischen Schiffsbauingenieur Dr. Marcell Klein, jetzt Privatdozent an der Wiener Technischen Hochschule, mit, der 1911 die Pläne entwarf. Das vollkommen spindelförmige Boot hatte 11,7 m Länge, 2,72 m größten Durchmesser und 50 t Verdräng. Es wurde durch Elektromotoren angetrieben, und war für Tiefen bis zu 50 m bestimmt. Außer der aus zwei Mann bestehenden Besatzung konnte es drei Forscher aufnehmen. In den beiden Kuppeln und am vorderen Teil des Bootskörpers selbst waren mit dickem Glas verschlossene Beobachtungsluken angebracht, an die auch Lichtbildkameras für stehende und Laufbilder angelegt werden konnten. Ein von Klein besonders konstruierter Scheinwerfer sorgte für ausgiebige Beleuchtung des Wassers. Er stand mit einer Art Taucherglocke in Verbindung, wodurch in seinem Innern selbsttätig der Druck auf gleicher Höhe wie der des umgebenden Wassers gehalten wurde. Im vorderen Teil des Akkumulatorerraumes waren seitlich zwei Taucherschleusen angebracht, in der sich auch Anschlußstutzen für den Atemschlauch des Tauchers befanden. Das Boot konnte 6 Stunden unter Wasser bleiben. Für den Fall eines Absinkens waren Telephonbojen vorgesehen, die vom Bootsinnern ausgelöst werden konnten. Ein aus zwei Bleiklötzen bestehender Fallkiel sollte auch bei schwerer Beschädigung ein Hochsteigen sichern.

Zwei Monate vor der Fertigstellung des Bootes brach der Krieg aus. Ein gegen den Einspruch des Konstrukteurs erfolgter Versuch, das Fahrzeug für Kriegszwecke umzubauen, mißlang. Der Bau wurde eingestellt, das Boot nach Kriegsende abgewrackt und als Alteisen verkauft.

Der Gedanke, Unterseeboote in den Dienst der Forschung zu stellen, ist weiter lebendig geblieben. Aber Tiefseeforschungen im eigentlichen Sinn lassen sich mit ihnen nicht anstellen.

Tiefseeforschung

Die großen Festlandmassen ruhen auf einer Art Sockel auf, dem sogenannten Schelf, der im allgemeinen in sanfter Böschung bis auf ungefähr 200 m Tiefe abfällt, um dort in einen Steilabfall überzugehen, dessen Böschungswinkel z. B. an der Westküste Europas an 14° , stellenweise das $2\frac{1}{2}$ fache, beträgt. Das erscheint vielleicht wenig. Denn man ist gewöhnt, die Böschungswinkel der uns sichtbaren Gebirge weit zu überschätzen. Die „nahezu senkrecht“ zum Eibsee abfallende Zugspitze hat z. B. einen solchen von 30° , und der immerhin recht steil anmutende Nordosthang des Thüringer Waldes erreicht nicht einmal einen Böschungswinkel von 6° . Dieser Schelf gehört noch zum Festland, wird deshalb auch als Kontinentalsockel bezeichnet. Er ist von der Flachsee bedeckt. Die Tiefsee beginnt erst am Rande jenes Steilabfalls. Wenn Alexander der Große für seinen Lehrer Aristoteles Taucher aussandte, um ihm Tiere und Pflanzen aus dem Meere heraufzuholen, hat er damit zwar Meeres-, noch nicht aber Tiefseeforschung betrieben. Solange man sich mit den Schiffen hübsch nahe an der Küste hielt, war sie auch gar nicht möglich. Erst im Zeitalter der großen Entdeckungen regte sich auch ein ernsteres Interesse, mehr über die vom Salzwasser bedeckten Abgründe zu erfahren. Der Flachsee selbst hatte man schon lange ein größeres Augenmerk gewidmet. Die in ihr herrschenden Tiefenverhältnisse trachtete man, so gut wie nur möglich, kennenzulernen, um die Schifffahrt vor Untiefen warnen zu können. Um sie aufzufinden, benutzte man anfangs Lotstangen, dann Handlote. Das sind an einer langen Leine befestigte Bleikörper von ungefähr 3 bis 8 kg Gewicht, die unten mit einer Höhlung versehen sind, die man mit Talg verschmiert, an dem dann Grundproben haften bleiben, Fels oder Korallen Eindrücke hinterlassen, aus denen man auf die Beschaffenheit des Grundes Schlüsse ziehen kann. Dieses Handlot liefert nur bis



Tief- und Flachsee. Das Land der Kontinente fällt unter Wasser im allgemeinen in sanfter Böschung bis auf rund 100 bis 200 m Tiefe ab, dann folgt erst ein Steilabfall. Von dort rechnet man erst die Tiefsee. Das zwischen Küstenrand und Steilabfall unter Wasser gelegene Stück Landes heißt Schelf, das sie bedeckende Wasser Flachsee

80 m Tiefe brauchbare Ergebnisse. Da man aber gezwungen sein kann, in noch größeren Tiefen zu ankern, wendet man auch größere Lote in gleicher Ausführung an, die ungefähr 30 kg wiegen und Schwerlote genannt werden. Mehr bedurfte es für die Praxis der Schifffahrt nicht. Immerhin tauchte aber stets wieder die Frage auf, wie tief eigentlich das Wasser der Ozeane hinabreiche.

Die alten Griechen nahmen an, daß die größten Tiefen der Meere annähernd den höchsten Erhebungen des Festlandes entsprächen, und ließen es dabei bewenden. Im Mittelalter begann man Lotversuche zu machen, doch mit untauglichen Mitteln, eben solchen Schwerloten, die mit Leinen von höchstens 400 m Länge versehen waren. Schon in verhältnismäßig geringen Entfernungen von der Küste, z. B. an vielen Stellen des Mittelmeeres, vermochte man damit den Grund nicht zu erreichen. So bildete sich die merkwürdige Ansicht aus, das Meer reiche durch den ganzen Erdball hindurch. Es war daher eine Tat von ziemlichlicher wissenschaftlicher Bedeutung, wenn der 1650 zu Leiden im 28. Lebensjahre verstorbene deutsche Geograph Bernhard Varenius diese Ansicht durch logische Schlußfolgerungen widerlegte. Da die Erde ein geschlossener Körper, die Erdmassen aber schwerer als Wasser seien, so folgte er, müßten jene schließlich stets zu unterst kommen. Mit seiner Vermutung, daß es nur wenige Stellen im Meere gäbe, die man nicht mit den damals bekannten Loten würde ausmessen können, hat er allerdings etwas danebengeschossen.

Der erste Lotversuch im offenen Ozean wurde von Magalhaens im Jahre 1521 mit einer 400 m langen Leine vorgenommen. Sie erreichte den Grund nicht, und ebenso ergebnislos verliefen andere derartige Versuche. Erst im Jahre 1818 vermochte Sir John ROSS mit einem 6 Zentner schweren Lot in der Baffinsbai eine Tiefe von 1970 m festzustellen. Er verwendete auch schon eine Grundzange zum Heraufholen von Bodenproben. Nun wurde das Loten in der Tiefsee eifriger betrieben. Man gelangte zu ganz erstaunlichen Tiefen. In seinem berühmten, 1845 bis 1858 erschienenen Werk „Kosmos“ schreibt Alexander von Humboldt, daß man an einigen Punkten der Tropenmeere in einer Tiefe von einer geographischen Meile (rund $7\frac{1}{2}$ km) noch keinen Grund erreicht habe. Wenn man genug Leine hatte, konnte auch in noch weitaus größeren Tiefen „kein Grund“ gefunden werden, und zwar auch dort, wo man ihn schon längst erreicht hatte.

Durch das Aufschlagen des Lotes auf dem Grund wird die Lotleine um das Lotgewicht entlastet, sie läuft daher von da an mit geringerer Geschwindigkeit ab. Merkbar ist dieser Unterschied aber nur dann, wenn das Gewicht des Lotes im Verhältnis zu

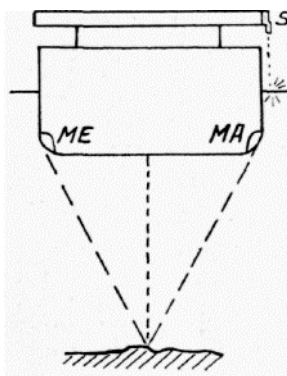
jenem der ausgelaufenen Leine groß ist. Das war bei sehr langen Leinen nicht mehr der Fall. Das Aufholen der Lotleine aus großen Tiefen ist eine schwierige und zeitraubende Arbeit. Es war daher ein kluger Gedanke, die Kosten des Lötens dadurch stark zu verringern, daß man das Lot und wenigstens den größten Teil der Leine preisgab. Man nahm aus dem gleichen Grunde als Lot eiserne Kanonenkugeln und wohlfeile dünne Leinen, stark genug, um die Kugel sicher zu tragen, was in freier Luft erprobt wurde. Da Leine und Kugel, so überlegte man weiter, im Wasser einen Teil ihres Gewichtes verlieren, müßte die Widerstandskraft der Leine beim Loten erst recht ausreichen. Leider stimmte das nicht. Es tritt die beträchtliche Reibung zwischen Leine und Wasser, verstärkt durch unterseeische Strömungen hinzu. Und das Gewicht der ausgelaufenen Leine ist, wenn einmal ein paar tausend Meter erreicht sind, auch nicht zu verachten. So dürfte wohl sehr oft die Leine gerissen sein, ohne daß es bemerkt wurde. Der Rest lief, durch die Schwere des verbleibenden Stücks gezogen, weiter aus. Man griff zu widerstandsfähigeren, sorgfältig gewachsenen Leinen und beobachtete die Ablaufzeit. Da stellte sich heraus, daß diese infolge der zunehmenden Reibung in einem bestimmten Verhältnis zur erreichten Tiefe anwuchs. Traf das Lot auf den Grund, so mußte der Zug plötzlich abnehmen und der Ablauf der Leine sich ebenso plötzlich noch weiter verlangsamen. Das trat denn auch wirklich ein. Die nunmehr gemessenen Tiefen waren viel geringer, aber dafür konnte man sich schon eher auf sie verlassen.

Die Erfindung des amerikanischen Seekadetten Brooke (1854) machte auch das Heraufholen von Grundproben aus großen Tiefen möglich. Dieses erste „Abfall-Lot“ bestand ursprünglich aus einer durchbohrten Kanonenkugel, durch die ein unten offenes Rohr gesteckt wurde, aus dem oben zwei Nasen herausragten, in die die Schlingen eines die Kugel umspannenden Drahtes geschlungen waren. Stieß das Lot auf den Grund, so wurde die Drahtschlinge schlaff, die beiden durch ein Scharnier miteinander verbundenen Arme mit den Nasen klafften auseinander und die Ösen der Drahtschlinge glitten ab. Das schwere Lotgewicht blieb am Boden, die Lotstange mit der Grundprobe konnte hochgezogen werden.

Das Aufholen nahm aber beträchtliche Zeit in Anspruch. Eine Lotung währte mehrere Stunden, und auch das Auslaufen der Leine eine halbe Stunde oder mehr. Man war daher bestrebt, die Dauer einer Lotung abzukürzen. Das geschah einerseits durch Vergrößerung des Lotgewichtes, anderseits durch Verringerung der Reibung, indem man an Stelle der Hanfleine Klaviersaitendraht verwendete. Außerdem wurden Einzelheiten verbessert. So entstand das Bailliesche Lot, dessen Gewicht man durch Auf-

legen von gußeisernen Scheiben nach der zu gewärtigenden Tiefe regeln kann. Um die Stöße beim Schlingern des Schiffes zu mildern, die ein Reißen der Leine zur Folge haben können, wurde der sogenannte Akkumulator eingeführt. Er besteht aus zwei kreisförmigen Holzscheiben, die durch eine Anzahl von rund einen Meter langen starken Gummibändern verbunden sind. Das Ganze sieht aus wie ein Vogelkäfig. Der Akkumulator wird an einer Raa befestigt. An seinem unteren Ende trägt er einen Block, über den die Lotleine geführt wird, zu der man wieder reumütig zurückgekehrt war, weil häufig Drahtrisse vorgekommen waren. Bei Tiefen um 5000 m herum brauchte man unter mittelguten Witterungsverhältnissen für eine Lotung immerhin an 2 Stunden, bei ungünstigeren viel länger. Man griff daher wieder zum Draht, nachdem 1872 Sir William Thomson, der nachmalige Lord Kelvin, gezeigt hatte, daß man Drahtbrüche nicht zu befürchten hatte, wenn man sofort nach dem Auftreffen des Lotes auf den Grund die Leine abstoppte. Der Drahtbruch tritt nämlich durch die Bildung von Kinken (Schlingen) im lose gewordenen Draht ein, die beim Hochziehen geschlossen und abgedreht werden. Er baute auch eine Lotmaschine, die jenen wichtigen Augenblick genau erkennen ließ. Sie war mit einer Bremse versehen, die eine um so größere Wirkung ausübt, je mehr Draht abgelaufen ist, und zwar soviel, daß die Bremsung etwas mehr ausmacht als der Zug der gesamten ausgelaufenen Leine. Bei Erreichung des Grundes fällt der vom Lotgewicht ausgeübte weg, und die Maschine wird schnell zum Stillstand gebracht. Sie trägt auch ein Zählwerk, das die erreichte Tiefe abzulesen gestattet. Unter Beibehaltung der erörterten Grundsätze wurden von anderen wesentlich verbesserte Lotmaschinen gebaut. Bis vor Kurzem wurden alle in den Ozeanen gemessenen Tiefen mit ihrer Hilfe ausgelotet. Für geringere hat Thomson, ein äußerst fruchtbarer Erfinder auf dem Gebiete der Schifffahrtskunde, ein Lot erdacht, das ich selbst als höchst zuverlässiges Hilfsmittel bei Segelfahrt in Nebel in seichten Gewässern mit wechselnden Tiefen, wie in der Nähe der Neufundlandbank, schätzen gelernt habe. Mit einer kleinen Lotmaschine wird an einem Klaviersaitendraht ein Handlot zur Aufnahme der Grundprobe und ein in einen Messingzylinder eingeschlossenes, mit einem Wapppfropf leicht verschlossenes Glasröhrchen, das innen einen Beschlag aus Silberchromat trägt, zu Wasser gelassen. Der Draht läuft schnell ab, und wird bei Erreichung" des Grundes sofort lose, worauf man ihn mit einem Metallhaken fängt und niederdrückt. Bei Tiefen von ungefähr 100 m und 6 Knoten Fahrt ist der Draht in einigen Minuten von Hand aus eingewunden (bei Tiefseelotungen braucht man recht kräftige Dampf- oder Motorwinden). In das Glasröhrchen ist das Was-

ser entsprechend der erreichten Wassertiefe eingedrungen und hat das rötliche Silberchromat gelblichweiß verfärbt. Die Ausdehnung der Verfärbung wird durch Anlegen an einen Maßstab gemessen, an dem man die erreichte Wassertiefe unmittelbar ablesen kann. Aus dem hier angewandten Grundsatz geht schon hervor, daß die Meßergebnisse unabhängig sind von der Länge der ausgelaufenen Leine. Man kann daher auch vom fahrenden Schiff aus loten. Nur darf die Geschwindigkeit des Schiffes nicht zu groß sein, da sonst das Lotmanöver, selbst bei Anwendung starker Motorwinden, zu schwierig wird. Als äußerste Grenze gilt eine Fahrtgeschwindigkeit von 16 Sm/h. Als man seinerzeit zu jenen unwahrscheinlichen Lotergebnissen mit den ungeheuren Tiefen gekommen war, suchte man nach Mitteln, sich von Lotleine und Lotgewicht unabhängig zu machen. Man verfiel darauf, Pulverladungen in bekannter Tiefe bei völlig ruhiger See zu sprengen, um aus dem Zeitunterschied zwischen dem Hörbarwerden des Knalles der Sprengung und dem Schall des durch sie am Meeresboden ausgelösten Echos die Tiefe zu bestimmen. Man bekam aber kein Echo zu hören. Dazu mußten erst ungleich feinere Instrumente erdacht werden, als es dazumal gab. Heute verfügen wir über einen auf diesem Gedanken- gang beruhenden Lotapparat, den sein Erfinder Alexander Behm in mehr als zehnjähriger wissenschaftlicher und praktischer Arbeit zu einem an Bord brauchbaren Instrument entwickelt hat. Der Schall pflanzt sich im Meerwasser mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 1440 m/Sek. fort. Daraus ergab sich die Schwierigkeit, Schallsignal und Echo, insbesondere bei geringen Tiefen, deren Feststellung für die Schifffahrt am wichtigsten ist, scharf zu trennen und die kurze zwischen den beiden Schallerscheinungen liegende Zeit genau zu messen. Grundsätzlich besteht die Einrichtung aus einem Schallerreger, einer



akustisch gesteuerten Uhr und einem Anzeige- beziehungsweise Registrier- instrument. Als Schallerreger dient ein kräftiger Summer oder eine Patrone, die durch einen Zeitzünder knapp unter Wasser detoniert wird. An jeder Bordseite sind tief unter Wasser symmetrisch zu einander ge- legene Mikrophone angebracht, so daß der Schiffskörper den zur Tren- nung von ursprünglichem Schall und Echo erforderlichen akustischen

Behms Echolot. S Sender auf der Kommando- brücke, MA Mikrophon auf der Sendeseite, ME Echoempfangsmikrophon

Schatten spendet. Das zur Aufnahme der Sendeschallwelle bestimmte Mikrophon ist so geschaltet, daß bei ihrem Auftreffen ein Strom unterbrochen und dadurch eine Sperre behoben wird, die ein Zeitradd bisher am Umlaufen gehindert hat. Es dreht sich nun mit hoher gleichmäßiger Geschwindigkeit. Durch Zahnrad und Hebelübersetzung wird ein Spiegel gezwungen, einen auf ihn geworfenen Lichtstrahl über eine Skala wandern zu lassen. Der Lichtstrahl nimmt dabei seinen Weg durch eine Linse, die auf einer von einem Elektromagneten in ihrer Stellung gehaltenen Blattfeder sitzt. Beim Auftreffen des Echoschalls auf das auf der anderen Bordseite befindliche Mikrophon wird der Erregerstrom dieses Magneten unterbrochen. Die Blattfeder schwingt aus, und der Lichtpunkt schwingt quer über die Skala, an der man die gemessene Tiefe ablesen kann. Die Meßgenauigkeit bewegt sich für Tiefen von 200 m und weniger bei Patronen mit 2 g Sprengladung in der Gegend von $\pm 2\%$. Für größere Tiefen benötigt man eine größere Sprengladung. Da es sich hier in erster Linie um die Messung eines sehr kurzen Zeitablaufs handelt, wächst die Meßgenauigkeit mit der Zunahme der Tiefe. Die Meßergebnisse können auch photographisch aufgenommen werden. Bei Verwendung von Summern und dergleichen, die in bestimmten kurzen Intervallen Zeichen geben, kann man mit ihrer Hilfe beim Überfahren eines Meeresteiles geradezu fortlaufend Profile aufzeichnen. Dabei nimmt man eine geringere Genauigkeit mit in Kauf, ein Mangel, der sich durch häufige Kontrollmessungen mit dem Patronenlot in weitgehendem Maß unschädlich machen läßt.

Welch ungeheure Bedeutung das Echolot für die Tiefseeforschung — von der praktischen Schiffsführung gar nicht zu reden — besitzt, mögen ein paar Ziffern dartun.

Im Lauf der Zeit wurden von zahlreichen Forschungsschiffen Tiefseelotungen ausgeführt, Kabellegegesellschaften haben insbesondere die Kabeitrassen genau ausgelotet. Trotzdem kannte man bis zum Jahre 1914 im Atlantischen und im Stillen Ozean nur je 6000, im indischen nur 3000 Tiefen von mehr als 1000 m, so daß im Mittel auf je 21 000 km² nur eine Lotung in dieser Größenordnung entfiel. Da die Lotungen hauptsächlich auf die Nähe der Kabeitrassen und der Reiserouten von Forschungsschiffen beschränkt sind, gibt es gar manche ozeanische Gebiete, in denen eine Lotung erst auf eine Fläche von dem zehnfachen oder gar zwanzigfachen des oben angeführten Ausmaßes entfällt. Am 29. 4. 1927 hat der deutsche Kreuzer „Emden“, laut „Umschau“, im Rechteck 126° 49'0, 9° 42' N und 127° 0' 0, 9° 59' N binnen acht Stunden 335 Echolotungen, darunter 46 in Tiefen von über 10 000 m durchgeführt, und dabei die bisher größte Tiefe mit 10 793 m ausgelotet. Es ist noch nicht gar so lange

her, daß eine so große Anzahl von Tiefseelotungen als sehr gutes Ergebnis einer mehrjährigen Arbeit eines Forschungsschiffes hätte gelten müssen. Das deutsche Forschungsschiff „Meteor“ hat auf seiner 2½-jährigen Reise, auf der es 67500 Seemeilen zurücklegte, dank Verwendung des Echolotes 67 400 Tiefseelotungen vornehmen können, wodurch ungefähr 33 000 neue Tiefenpunkte bestimmt wurden, da jede Lotung durch eine zweite überprüft wurde. Dies ist notwendig, weil die Schallwellen unter Umständen schon durch den Körper eines großen Fisches und dergleichen zurückgeworfen werden könnten. Mit der Tiefenmessung ist aber der Begriff Tiefseeforschung bei weitem nicht erschöpft. Man will über die Beschaffenheit des Bodens, die Meeresströmungen, die Temperatur, den Salzgehalt, die Fauna und Flora der verschiedenen Tiefenstufen etwas erfahren. So kommt man trotz Echolot von der Lotleine nicht los. Nach wie vor werden mit Hilfe von Lotmaschinen Stoßröhren in die Tiefe gesendet. Sobald sie am Grunde angelangt sind, wird eine Echolotung vorgenommen. An der Lotleine befestigt man in bestimmten Abständen Umkehrthermometer, Schöpfflaschen und Apparate zur Messung der Meeresströmungen. Um sicherzugehen, daß die Angaben der Instrumente nach dem Wiederaufholen tatsächlich den zu untersuchenden Tiefenstufen entsprechen, beläßt man sie längere Zeit in gleicher Stellung unter Wasser. Dann wird längs der Leine ein durchlochstes Gewicht niedergelassen, das beim Aufstoßen auf das oberste Instrument dieses außer Tätigkeit setzt und zugleich ein an dessen unterem Ende hängendes Abfallgewicht auslöst, das nunmehr beim nächsten Instrument dasselbe leistet wie das erste Gewicht beim obersten. So geht das fort, die ganze Reihe hindurch. Die Thermometer werden auf diese Weise umgekehrt, wobei der Quecksilber- oder Weingeistfaden abreißt, die Schöpfflaschen geschlossen. Zur Erbeutung von Tieren und auch Pflanzen zieht man am Grunde sackförmige Netze, sogenannte Dredsen, nach, zu der der frei schwimmenden Fauna und Flora, dem Plankton (von griech. planktós, herumirrend), benutzt man sehr dicht gewebte Sacknetze, die sich beim Hochziehen schließen.

So kann man eine ganze Reihe von Untersuchungen durchführen, aber nur bei stillstehendem Schiff. Vollkommene Wind- und See-
stille ist in den meisten Meeresteilen eine Seltenheit, das bloße Abstellen der Maschine genügt daher in den allerwenigsten Fällen. Ein normales Ankern ist aber in Tiefen von ungefähr 100 bis 200 m an untunlich. Man hilft sich dadurch, daß man sogenannte See- oder Treibanker ausbringt, die ein verhältnismäßig ruhiges Liegen bewirken. Das sind zwischen mehreren Rundhölzern (Balken) z. B. Reserve-Raaen, ausgespannte,

mehrfach über einander gelegte und zusammengenähte Segel, die, unten beschwert, und an einem starken Tau nachgeschleppt, eine bedeutende Bremswirkung ausüben. Auch bei starkem Wind und Seegang treibt das Schiff nur ganz langsam. Auf der Forschungsfahrt des „Meteor“ unter Kapitän Spieß wurde, meines Wissens zum erstenmal, und zwar erfolgreich, auch in großen Tiefen geankert. Dazu diente eine sehr dünne Stahltrosse von ungefähr 15 mm Durchmesser und 8000 m Länge mit zwei an ihr in einem gegenseitigen Abstand von 50 m angebrachten Ankern von je 100 kg Gewicht. Bei gutem Wetter konnte man das Schiff noch bei Tiefen bis zu 5000 m ohne Zuhilfenahme der Maschine festhalten. Die Hauptrolle spielte dabei die Reibung der langen Trosse im Wasser und ihr Eigengewicht. Für normales Ankern wären für ein Schiff von der Größe des „Meteor“ (1500 t) Anker von 1500 bis 2000 kg nötig gewesen. Das Ankern war vornehmlich für die Strömungsmessungen wichtig. Die Stromgeschwindigkeit ergibt sich zum Beispiel aus der Anzahl Umdrehungen eines kleinen Propellers während einer bestimmten Zeit. Die Stromrichtung wird durch eine Kompaßvorrichtung aufgezeichnet. Bei schlechtem Wetter muß man trachten, sich durch Andampfen gegen Wind und See annähernd an derselben Stelle zu halten. Strömungsmessungen sind unter solchen Verhältnissen ganz unzuverlässig. Aber andere Untersuchungen kann man mit Erfolg anstellen. Da man auf einmal nur ungefähr zehn Instrumente der Tiefe anvertrauen kann — sonst würde das Tragseil zu schwer belastet —, muß man mehrere Beobachtungsreihen hintereinander durchführen. Auf der Reise des „Meteor“ wurden 312 solcher „Stationen“ bezogen, von denen bloß zwei, bei Windstärke 10 (75 km/h) abgebrochen werden mußten. Nur eine einzige fiel wegen noch heftigeren Sturmes (Windstärke 11 bis 12, rund 150 km/h) ganz aus. Die Erledigung einer Station nahm im Durchschnitt 8 Stunden in Anspruch. Kaum ein anderes Schiff hat so viel für die Tiefseeforschung geleistet wie der „Meteor“. Alle diese Mittel der Tiefseeforschung lassen sich nur dort anwenden, wo ein Fahrzeug hingelangen kann. Da Oberseeschiffe durch Eis nicht hindurchkönnen, das mitunter selbst Eisbrechern viel zu schaffen macht, verfiel der Polarflieger Wilkins auf den Gedanken, es einmal unter dem Eise zu versuchen. Simon Lake war im Jahre 1904 bei einer Probefahrt in der Narrangansett-Bai unter eine große und dicke Eisscholle geraten, in der sein Begleitschiff fest eingefroren war. Sein Unterseeboot vermochte ohne Beschädigung durch das Eis hochzutauchen. Der russische Unterseebootskommandant Pogorelski brachte im Jahre 1918 sein Boot, die rund 300 km lange Strecke unter der Eisdecke fahrend, durch die zugefrorene Ostsee von Helsingfors nach

Kronstadt. Er hat damit die Möglichkeit der Schiffsführung unter dem Eise bewiesen. Er wird wohl öfters, behufs Orientierung, durch freie Stellen hochgetaucht sein. Zur erfolgreichen Durchführung von Forschungsfahrten unter dem Eise wird man freilich besonders gebaute Boote verwenden müssen, und sich nicht, gleich Wilkins, mit einem für andere Zwecke geschaffenen begnügen dürfen. Er hat aber auf seiner, von vielem Mißgeschick verfolgten Fahrt eine ganze Reihe von praktischen Erfahrungen gesammelt, die für eine solche Konstruktion verwertet werden können.

Ein solches Fahrzeug braucht nicht schnell, muß aber sehr fest sein. Man kann ihm daher eine annähernd eiförmige Gestalt geben. An der Oberseite wäre ein Eispanzer anzubringen. Ein oberhalb des Bootes angebrachter Fühlhebel könnte die Entfernung von der Eisdecke, ein ähnlicher bei Fahrt in sehr seichtem Wasser jene vom Grunde fortlaufend anzeigen. Grundrollen am Bootsboden wären vorteilhaft, Vom Bootsinnern aus bediente mechanische und thermische Bohr-, Säge- und Schneidevorrichtungen vermöchten ziemlich starke Eisdecken zu bewältigen. Dann bliebe noch immer die Möglichkeit der Sprengung mit Hilfe elektrisch zu zündender kleiner Minen. Mit einem Eisbrecher als Mutterschiff, von dem aus ungefähr 100 km weite Fahrten unter der Eisdecke nach verschiedenen Richtungen hin vorgenommen werden könnten, ließen sich wohl recht wertvolle Ergebnisse erzielen. Die bisher bekannte größte Tauchtiefe hat ein amerikanisches Unterseeboot mit 110 m erreicht. Besonders gebaute Forschungsboote, die eine Art Mittelding zwischen Tauchboot und Tauchkasten bilden könnten, müßten wohl imstande sein, auch noch tiefer hinab zu gelangen, Hier hat der Techniker, vor allem der Werkstofftechniker das Wort.

Wünschelruten der Wissenschaft

Gewißheit über das Innere der Erde kann man nur dadurch erlangen, daß man in sie wirklich eindringt. Sowohl die Vornahme von Probebohrungen, wie die Anlegung von Stollen und Schächten für Versuchszwecke war seit je mühevoll und kostspielig. Bevor man so etwas unternahm, wollte man wenigstens mit einem gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit feststellen, daß man wirklich etwas Abbauwürdiges fände. Schon frühzeitig achtete man daher sorgsam auf Anzeichen, die es gestatteten, Vermutungen über das Vorkommen bestimmter Mineralien anzustellen. Die Suche nach solchen Anzeichen nennt man Mutung, welcher Ausdruck im deutschen Bergrecht auch die Einreichung eines Ansuchens um eine Schürfbewilligung bedeutet. Im weiteren Sinn sind Schürfen und Muten gleichbedeutend, im engeren versteht man unter Schürfen die bergmännische Probearbeit.

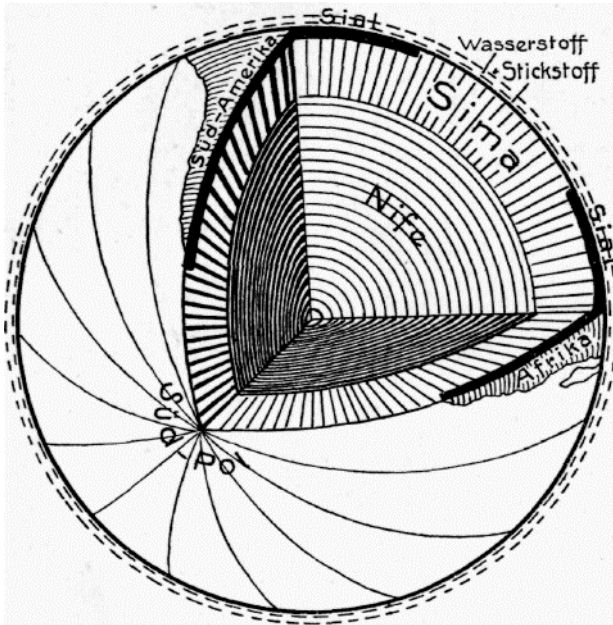
Die Erfahrung lehrte frühzeitig, daß man aus dem Vorkommen bestimmter Pflanzen auch auf das bestimmter Gesteine in ihrem Nährboden schließen könne. Das Galmeiveilchen dankt dem Umstand seinen Namen, daß es zinkhaltigen Boden vorzieht, das Glasschmalz oder Gänsefüßchen verrät Salzlager und so fort. Man kennt eine ganze Reihe solcher Leitpflanzen, von denen manche recht wertvolle Erze anzeigen. Man hat das eine Zeitlang für Bergmannsaberglauben gehalten, heute hat man die ursächlichen Zusammenhänge erkannt, die im Bedarf der betreffenden Pflanze an gewissen Mineralien für ihren Aufbau gelegen sind. Ähnlich ist es mit der Wünschelrute gegangen, die ein wichtiges Hilfsmittel der mittelalterlichen Mutung war, und neuestens wieder zu Ehren gekommen ist. Vollständig ist die Wünschelrutenfrage noch nicht geklärt. Aber die Wissenschaft hat uns verschiedene Arten von Wünschelruten geschenkt, die, einzeln oder nebeneinander verwendet, wertvolle Aufschlüsse über das Erdinnere geben.

Sie konnten freilich erst entwickelt werden, nachdem nicht nur ein großer Erfahrungsschatz durch die wissenschaftliche Erdforschung (Geologie) und bergmännische Arbeit sich angesammelt hatte, sondern auch durch die Fortschritte in der Ausbildung physikalischer Instrumente ganz neue Wege beschreitbar geworden waren. All diesen Methoden, die ohne Ankratzen des Erdbodens schon Ergebnisse liefern können, liegt die Tatsache

zugrunde, daß die Erdrinde nicht etwa eine durchaus gleichmäßige Zusammensetzung aufweist, sondern aus sehr verschiedenartigen Stoffen besteht. Die von diesen gebildeten Anhäufungen verlaufen bald als einheitliche Schichten mit ziemlich gleichbleibender Streichrichtung, bald sind sie verworfen und von Schichten anderer Gesteine, Wasseradern, Höhlungen und dergleichen unterbrochen oder durchsetzt. Die einzelnen Stoffe unterscheiden sich voneinander durch ihre physikalischen Eigenschaften in größerem oder geringerem Maße. Solche Unterschiede zeigen sich z. B. in bezug auf Dichte, elektrische Leitfähigkeit, magnetisches Verhalten.

Zunächst sei hier die Echomutung besprochen, die auf den gleichen Grundsätzen beruht wie das Behmsche Echolot. Diese Methode ist von der Erdbebenforschung übernommen. Man hatte beobachtet, daß von den Anzeigeeinstrumenten bei Fernbeben zwei Vorstöße und ein Hauptstoß aufgezeichnet werden, von denen bei Ortsbeben nur dieser, bei Nahbeben immerhin auch noch ein Vorstoß beobachtet wird. Daraus schloß man, — ich übergehe eine Reihe von Einzelheiten, deren Erörterung in diesem Zusammenhang nicht notwendig ist —, daß sich in einer Tiefe von ungefähr 1500 km die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern jäh ändert. Wie ein Lichtstrahl beim Übertritt aus einem Medium in ein anderes seine Richtung ändert, trifft dies auch für Erschütterungswellen zu. Nimmt man für eine Tiefe von 1500 km eine Richtungsänderung an, die auf eine Dichte von ungefähr 8 für das Erdinnere, und eine solche von $2\frac{1}{2}$ bis $3\frac{1}{2}$ für die Erdkruste (was mit jener der Gesteine in den dem Menschen zugänglichen obersten Schichten übereinstimmt) schließen läßt, so erklären sich zwanglos die abweichenden Ergebnisse bei Beobachtung eines und desselben Bebens an verschieden weit von dessen Ursprung abgelegenen Stellen. Ein Teil der ausgelösten Wellen pflanzt sich längs der Erdoberfläche, ein anderer innerhalb der Erdkruste, ein dritter annähernd auf der kürzesten Verbindungslinie zwischen Bebenherd und Instrument fort. Beim Nahbeben fallen diese dritten Wellenzüge mit den durch die Kruste wandernden zusammen, beim Ortsbeben wird alles andere durch die unmittelbare Erschütterung des Erdbodens überdeckt. Der Hauptstoß wird stets durch die Oberflächenwellen ausgelöst. Jene Schlüsse auf die Beschaffenheit des Erdinnern waren auch aus anderen Umständen zu folgern. Nach einem allgemeinen physikalischen Gesetz wächst die Fortpflanzungsgeschwindigkeit jeder Welle mit der Dichte des von ihr durchlaufenen Mediums. Nun treten bei einem Erdbeben Wellenarten grundsätzlich verschiedener Natur auf, der auch verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in ein und demselben Medium entsprechen. Die einen schwingen in der

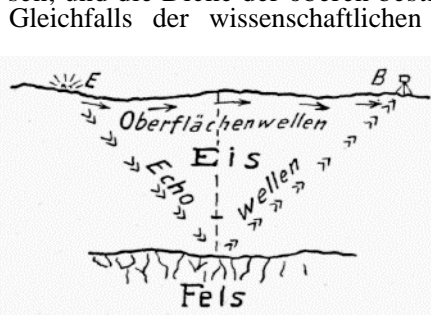
Fortpflanzungsrichtung, longitudinale Wellen, die anderen senkrecht zu ihr, transversale Wellen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Gesteinsarten hat man experimentell bestimmt. Somit ergaben sich eine ganze Reihe von Anhaltspunkten, die zu der gegenwärtig herrschenden Anschauung über den allgemeinen Aufbau des Erdinnern führen, den man sich,



Schema des Aufbaus des Erdinnern

sozusagen in Verfeinerung der oben angedeuteten, ungefähr folgendermaßen vorstellt: Der Erdkern mit rund 3500 km Halbmesser soll aus Stoffen mit einer Dichte von 6 bis 12, hauptsächlich Nickel und Eisen (daher „Nife“), bestehen. Dann folgt eine Schicht von 1700 km mit einer solchen von 4 bis 6, darüber eine 1200 km dicke Schale mit einer Dichte von 2,7 bis 3,4, als deren Hauptbestandteile Silizium und Magnesium (Sima) angesehen werden. Dann wird eine „plastische Zone“ angenommen, über der mit einer Dicke von 100 bis 150 km die äußere, hauptsächlich aus Silizium und Aluminium (Sial) bestehende Kruste lagert. Das sind alles nur rohe Zahlen, die auch im Rahmen der Theorie schon an der zweiten Stelle unsicher sind, wie daraus hervor-

geht, daß der Erdhalbmesser am Äquator mit 6375 km kleiner ist als die Summe der angegebenen Zahlen. Die durchschnittliche Dichte des Erdballs ist hingegen mit 5,6 genau bestimmt. Es sind aber sehr beachtliche Ergebnisse, die hier aus Erdbebenbeobachtungen abgeleitet wurden. Daher lag der Gedanke nahe, durch kleine künstliche Erdbeben auf die Zusammensetzung eines engbegrenzten Teiles der Erdrinde, auf ein Schürfgebiet, Schlüsse zu ermöglichen. Diese Methode sei an der Messung der Dicke des Grönlandeises durch die Expedition Wegeners, der auf ihr sein Leben lassen mußte, erläutert. An einer Stelle der Eisoberfläche wird eine Sprengung vorgenommen — das künstliche Erdbeben tritt ein. Durch die gleichmäßige Eisschicht bewegen sich die Erschütterungswellen in gleichbleibender Richtung. Ein Teil wandert an der Oberfläche, der andere geht in die Tiefe und wird, wenigstens zum Teil, an dem unten liegenden dichteren Felsboden reflektiert. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Eise beträgt bei den longitudinalen Wellen 3600 m/sek, bei den transversalen 1700 m/sek. An in gewissen Abständen aufgestellten Beobachtungsinstrumenten treffen zuerst die longitudinalen Oberflächenwellen, dann die longitudinalen reflektierten, schließlich in gleicher Reihenfolge die transversalen Wellen ein. Der Augenblick der Sprengung wird auf elektrischem Wege auf einem Filmband festgehalten, auf dem auch die durch die Erschütterung hervorgerufenen Wellen, z. B. mit Hilfe einer schwingenden Stimmgabel, aufgezeichnet werden. Aus dem Abstand der Beobachtungsstellen vom Sprengherd, der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der verschiedenen Wellen und der zwischen Sprengung und ihrem Eintreffen verstrichenen Zeit kann man die Eisdicke berechnen. Sie wurde an der Westküste mit 142 m, 120 km von der Küste mit 1800 m, für die Gletscher im Innern mit 2700 m gefunden. Nach diesem Verfahren läßt sich auch die unmittelbare Aufeinanderfolge zweier Gesteinsschichten verschiedener Dichte nachweisen, und die Dicke der oberen bestimmen.



Erdforschung ist die Drehwaagenmethode entlehnt, die zur Bestimmung der Erdschwere dient. Ein Senklot weist stets in die Richtung der größten Schwerkraftwirkung, die wir uns vom Mittelpunkt

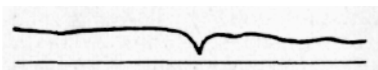
Echomutung. Bestimmung der Dicke von Gletschereis. E Sprengstelle, B Beobachtungsinstrument (deren sind mehrere aufgestellt)

der Erde ausgehend denken. In der Erde sind aber die Massen ungleich verteilt. Massenanhäufungen und Massendefekte wechseln miteinander ab. Die Masse eines Körpers ist jedoch, bei gegebenem Rauminhalt, abhängig von der Dichte des Stoffes, aus dem er besteht. Übersteigt diese die der sonst in der Umgebung vorhandenen Gesteine, so wird eine Anhäufung eines solchen besonders schweren Stoffes eine stärkere Massenanziehung ausüben, und ein Senkel zu sich heranziehen. Ist sie hingegen kleiner, tritt das Umgekehrte ein. Das erste wird z. B. beim Vorhandensein von Erzlagerstätten, das andere bei dem von großen Höhlen, Wasseransammlungen, Erdöl, Salzsolen usw. der Fall sein. Hängt man zwei Senkel über einem Gebiet gleicher Schwerkraftwirkung in mäßiger Entfernung voneinander auf, so werden sie sich parallel zu einander einstellen. Man kann durch sie eine senkrecht zum Horizont stehende Ebene durchlegen, die zugleich die Ebene ist, in der die Schwerkraft auf beide Senkel wirkt. Nun denke man sich, daß auf das eine Senkel eine verstärkte oder verminderte Schwerkraftwirkung ausgeübt wird. Dann wird es aus der erwähnten Ebene heraustreten müssen, um in eine Gleichgewichtslage zu kommen. Es wird also ein seitlicher Zug auftreten. Nun verbinden wir beide Senkel durch einen starren, aber um einen Aufhängepunkt in waagrechtem Sinn drehbaren Balken. Es wird dann, bei vorhandenem Unterschied der Schwerkraft, tatsächlich eine Drehung dieses Balkens in waagrechtem Sinn erfolgen.

Die vom ungarischen Physiker, Baron Eötvös, erdachte Drehwaage besteht aus einem an einem sehr dünnen Faden hängenden Balken, einem ungefähr 40 cm langen Aluminiumrohr, das an seinen Enden Gewichte von je rund 30 g trägt. Dreht sich der Balken in horizontaler Ebene, so wird der Faden verdrillt. Da seine Torsionskraft dieser Verdrillung entgegenwirkt, gerät das System in Schwingung. Die Schwingungsdauer ist ein Maß für die Größe des Winkels, um den der Balken zur Erreichung seiner neuen Gleichgewichtslage sich drehen muß. Daraus ergibt sich die Abweichung der Richtung der Schwerkraft. Aus der Länge des Balkens kann man schon auf die außerordentliche Empfindlichkeit dieses Instrumentes schließen. Durch Aufhängung des einen Gewichtes an einem 65 cm langen Faden machte es Eötvös auch tauglich zur Feststellung von Unterschieden in der Größe der Schwerkraft, die auf das tiefer hängende Gewicht ein wenig stärker einwirkt. Durch eine Reihe von Messungen in einem Schürfgebiet läßt sich so eine Fundstätte ihrer horizontalen Ausdehnung nach bestimmen. Die Grenzen eines Salzhorstes konnten auf 50 m genau angegeben werden. Dr. Rybar, ein Landsmann des Erfinders, hat vor wenigen Jahren, hauptsächlich durch Einführung einer Wolfram-

legierung für den Draht, die Empfindlichkeit der Drehwaage noch versechzehnfacht.

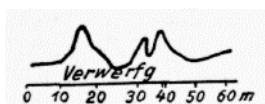
Magnetische Massen rufen eine Ablenkung der Magnetnadel hervor. Verwendet man eine um eine senkrechte Achse schwingende Nadel (Deklinationsnadel), so erhält man durch eine Reihe



Elektromutung. Kurve der Vertikalintensität über einem Schurfgebiet. Das Tal zeigt eine Stelle hoher Leitfähigkeit an, die auf einen Erzgang schließen läßt. (Nach Obpacher, „Technik für Alle“)

von Beobachtungen ein Bild von der horizontalen Ausdehnung des störenden Magnetfeldes. Eine um eine waagrechte Achse schwingende (Inklinationsnadel) gibt die Richtung an, in welcher vom Standpunkt des Beobachters aus unter der Erde die stö-

rende Schicht zu suchen ist. Aus den Angaben der Deklinations- und Inklinationsnadeln kann man dann auch auf die Tiefe, in der die Schicht zu suchen ist, schließen. Auch die Elektrizität hat man mit Erfolg in den Dienst der Lagerstättenuche gestellt. Grundsätzlich handelt es sich dabei stets darum, im Boden des zu untersuchenden Gebietes einen Stromfluß hervorzurufen. Mit geeigneten Meßinstrumenten sucht man seinen Verlauf oder den senkrecht zu ihm stehenden der Linien gleichen Spannungsgefälles (Potentials) festzustellen. Der praktische Vorgang sei an einem schon vor einem Jahrhundert erdachten, heute aber mit anderen Mitteln ausgeführten Verfahren geschildert. Im Abstand von mehreren hundert Metern werden ebensolange nackte Drähte parallel zueinander ausgelegt und einseitig geerdet, Die nicht geerdeten Enden werden durch ein gut isoliertes Kabel verbunden, durch das man Einphasenwechselstrom von gleichbleibender Frequenz schickt. Zwischen den beiden ausgestreckten Drahtelektroden werden sich nun Kraftlinien ausbilden, deren Verlauf man durch Aufsuchen von Bo-



Mutung durch Messung der radioaktiven Erdstrahlung). Kurve der Strahlungsintensität über einem Schurfgebiet mit Verwerfung (nach Dr. R. Ambronn „Umschau“)

denstellen gleichen Potentials feststellt. Dazu dienen Suchstäbe, das sind mit isolierten Handgriffen versehene Erdspieße, die an einer langen, sie verbindenden isolierten Leitung ein Telefon tragen. Den einen Spieß steckt man an einer Stelle des Suchgebietes in die Erde, mit dem anderen sucht man durch Einstecken des zweiten Spießes in die Erde nach Stellen gleichen Potentials. Eine solche ist gefun-

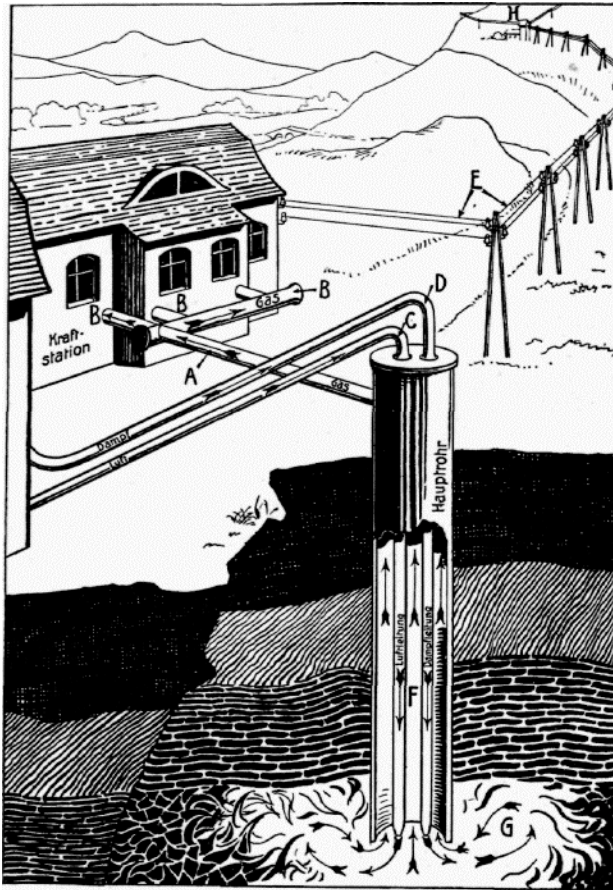
den, wenn das Telefon nach Erdung des zweiten Suchstabes stumm bleibt. Besteht ein Spannungsunterschied zwischen den beiden Punkten, so vernimmt man im Telefon den der Frequenz des verwendeten Wechselstroms entsprechenden Ton. Bei der Radiomutung verwendet man ortsbewegliche, vom Boden

isolierte Rahmenantennen mit Peilvorrichtungen, mit denen man den Verlauf des elektromagnetischen Feldes, das z. B. auf die beschriebene Weise hervorgerufen sein mag, in horizontalem und vertikalem Sinne vermißt. Man kann auch den Sender im Innern eines Bergwerks aufstellen, um das oberhalb gelegene Gebirge zu untersuchen.

Durch Messung der Intensität der radioaktiven Bodenstrahlung versucht man gleichfalls Aufschlüsse über die Beschaffenheit eines Schürfgebietes zu erlangen. Diese Methode soll sich insbesondere für den Nachweis von Verwerfungen eignen. Jedes einzelne der angeführten Mutungsverfahren gibt Aufschlüsse über bestimmte physikalische Eigenschaften des untersuchten Bodens. Wendet man mehrere Verfahren auf demselben Gebiete nebeneinander an, so kann man manches herausfinden, das unter Heranziehung der Lehren der Geologie und der bergmännischen Erfahrung zu Schlüssen von hoher Wahrscheinlichkeit über die zu erwartenden Ergebnisse eines Probeschurfes führen kann. Untrüglich sind diese Schlüsse freilich nicht. Mit der wachsenden Erfahrung wächst aber ihre Zuverlässigkeit von Jahr zu Jahr,

Erdwärme und Meereskälte als Kraftquellen

Seit man begonnen hat, nachzurechnen, wie lange wohl die dem Menschen heute zugänglichen Vorräte an mineralischen Brennstoffen reichen würden, hat es an Vorschlägen zur Erschließung neuer Energiequellen nicht gefehlt. Vorübergehend war in der breiten Öffentlichkeit die Meinung verbreitet, daß ein Vollausbau der gesamten auf Erden in Form fließender Gewässer vorhandenen Wasserkräfte die Gefahr einer Energiehungersnot für alle Zeiten bannen könnte. Nach den vom Verein Deutscher Ingenieure anlässlich der zweiten Weltkraftkonferenz (Sommer 1930, Berlin) veröffentlichten Angaben sind insgesamt 327 000 000 Kilowatt an ausbauwürdigen Wasserkraften vorhanden, die bei halbtägiger Vollaussnutzung im Jahr nicht ganz 1,5 Billionen kWh liefern könnten. Der Energiewert der im Jahre 1927 geförderten mineralischen Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) überstieg bereits das Doppelte dieses Betrags. Da die Brennstoffförderung dem Brennstoffverbrauch annähernd gleichgesetzt werden kann, bedeutet dies, daß selbst bei Vollaussnutzung aller Wasserkräfte während der ganzen vierundzwanzig Stunden eines jeden Tages des Jahres der schon gegenwärtig bestehende Energiebedarf durch sie allein nicht gedeckt werden könnte. Grund genug, jenen Vorschlägen ernstes Augenmerk zu schenken. Gar so schnell wird es mit der Erschöpfung unserer mineralischen Energiequellen allerdings nicht gehen, wenngleich z. B. die Erdölvorräte in ein paar Jahrzehnten schon sehr knapp werden könnten. Für die Kohle nehmen aber auch vorsichtige Schätzungen eine Erschöpfung erst in einem Jahrtausend an. Doch man darf nicht außer acht lassen, daß mit dem weiteren Vordringen in das Innere der Erde die Förderkosten steigen. Es kann also wohl vorkommen, daß auch sehr große Lager deshalb nicht mehr weiter ausgebeutet werden können. Hier knüpft ein Vorschlag des berühmten englischen Physikers William Ramsay an, dessen versuchsweise Verwirklichung vor ungefähr zwei Jahrzehnten schon nahe bevorzustehen schien, und der auch den großen Verlusten bei der Umwandlung der Brennstoffe in mechanische oder elektrische Energie einen Riegel verschieben sollte. Ramsay beabsichtigte nichts weniger, als die Kohlenlager selbst als Gasretorte zu verwenden, wobei er freilich bloß solche im Auge hatte, die wegen geringer Mächtigkeit der Flöze oder Minderwertigkeit der Kohle schon damals nicht abbauwürdig waren.



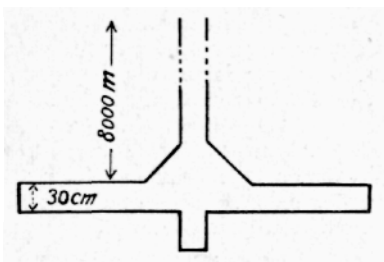
Gasanstalt unter der Erde. Nach einem Vorschlag des englischen Physikers Ramsay

In den Boden sollte ein tiefer Schacht bis zum Kohlenlager getrieben und mit einem weiten Rohr dicht ausgekleidet werden. In diesem Rohr sollten zwei andere niedergebracht werden, durch die er Luft, bzw. Dampf einpressen wollte. Nach elektrischer Zündung der Kohle würde diese in den Tiefen der Erde zu unvollkommener Verbrennung gelangen. Es würden sich, ähnlich wie in einem Gaswerk, brennbare Gase bilden, die den Luft- und Wasserdampfszuführungsrohren entlang durch das weite Rohr nach oben streichen, und dort z. B. zum Betrieb von mit Dynamos gekuppelten Gasmotoren dienen könnten. Damit wäre zwar noch nicht ein Ersatz für Kohle, wohl aber ein Weg zur Verwertung solcher Flöze geschaffen, die man heute ungenutzt im Schoß der Erde ruhen lassen muß.

Brennstoffe werden zur Erzeugung von Wärmeenergie entbehrlich, wenn man Wärme ohne den Umweg über deren Verbrennung gewinnen kann. Nun nimmt die Temperatur des Erdinnern stufenweise mit der Tiefe zu. Diese Temperaturzunahme schwankt in verhältnismäßig weiten Grenzen, wird aber im Durchschnitt mit ungefähr 3°C für je 100 m angenommen. Das brachte Sir Charles Parsons, den Erfinder der Schiffsdampfturbine, auf den Gedanken, die Erde einfach anzubohren und die in ihr entwickelte Wärme zur Heizung einer unten anzubringenden Dampfkesselanlage auszunutzen. Er rechnete mit einer Schachttiefe von ungefähr 7 km, was annähernd der Verdoppelung bis Verdreifachung der größten heute erreichten Schachttiefe gleichkäme, allerdings mit einer Vervielfachung der Niederbringungskosten verbunden wäre. Während des Abteufens müßte selbstverständlich von einer gewissen Tiefe an für eine ausgiebige Kühlung gesorgt werden, um das Arbeiten überhaupt möglich zu machen, zumal man mit einer Temperaturzunahme um rund 200°C zu rechnen hätte. Die Herstellung eines einfachen Bohrloches würde nämlich zur Durchführung des Parsonschen Planes nicht genügen. Mit einem solchen will aber der rumänische Ingenieur N. Florian unter Beibehalt des gleichen Grundgedankens das Auslangen finden.

In einer 1930 veröffentlichten Broschüre verfißt er seine Ideen. Als Ideal schwebt ihm die Erreichung einer Tiefe von 33 000 m mit einer theoretischen Temperatur von 1000° vor. Er begnügt sich aber mit einer Tiefe von rund 8000 m, entsprechend einer Temperatur von 240° und einem Druck von 30 at. Bei Vorhandensein der nötigen Geldmittel könnte, seiner Ansicht nach, bei dem heutigen Stande der Technik ein Bohrloch auf die genannte Tiefe niedergebracht werden. Damit wäre aber noch nichts getan. Man braucht unten auch einen Kessel. Dieser soll eine Heizfläche von 60 000 m^2 erhalten und dadurch hergestellt werden, daß man am unteren Ende des Bohrloches

Ein Dampfkessel in 8000 m Tiefe. Nach einem Vorschlag des Rumänen Florian. Das Wasser wird durch die Erdwärme verdampft. Der Kessel ist als flacher (nur 30 cm hoher!) Hohlzylinder von rund 200 m Durchmesser gedacht



eine Kammer aushöhlt, die bloß 30 cm hoch zu sein brauchte. Die große Heizfläche benötigt man, um genügend Dampfmengen erzeugen zu können, da sonst der Dampf sich auf dem Weg bis zur Erdoberfläche zu stark abkühlen würde. Florian berechnet, unter Berücksichtigung aller Verlustquellen, eine nutzbare Leistung von 60000 PS bei einem Gesamtgeldaufwand von 12 Millionen Dollar. Die Dampfkammer — sie hätte rund 100 m Halbmesser! — will er durch von ihm konstruierte Bohrgeräte herstellen. Die Bohrer sitzen, wie bei den Bohrmaschinen der Zahnärzte, auf biegsamen Drehachsen, die entsprechend dem Arbeitsfortschritt in horizontaler Richtung immer weiter ins Gestein vordringen sollen. Andere Vorrichtungen sind für das Einsetzen von Stützen in die Kammer und ihre Ausbetonierung bestimmt. Einstweilen scheinen alle diese Konstruktionen bloß auf dem Papier vorhanden zu sein. Da aber die Ausführbarkeit des Projektes, abgesehen von anderem, von der praktischen Leistungsfähigkeit jener Geräte abhängt, wird man vorläufig an ihr noch zweifeln dürfen.

Aus rein wissenschaftlichen Erwägungen hatte Ingenieur Parsons schon 1904 in einem Vortrag angeregt, einen 18 km tiefen Schacht anzulegen, was nach seinen Plänen im Lauf von 85 Jahren unter einem Aufwand von 25 Millionen Pfund Sterling möglich sein sollte. Die Ausführbarkeit der Idee wurde stark angezweifelt. Professor Adams wies demgegenüber 1912 auf Grund eingehender Versuche nach, daß man Schächte in Granit noch 24 km, in Sandstein sogar 48 km tief treiben könnte. Bei jeder Dampfmaschine gelangt ein vorhandenes Wärmegefälle, ein Temperaturunterschied, zur Ausnutzung. In welchem Temperaturgebiet er vorhanden ist, hat grundsätzlich keine Bedeutung. Damit Arbeit geleistet werde, muß Dampf vorhanden sein, dem Wärme entzogen werden kann. Wir sind gewohnt mit Wasserdampf zu rechnen, dessen Temperatur über dem Siedepunkt bei Atmosphärendruck, also über 100° C, liegt. Unter wesentlich geringerem Druck geht aber Wasser schon bei viel niedrigeren Temperaturen in Dampfform über. Bei einem Luftdruck

von 1/120 at verdampft das Wasser schon bei 5° C. Dies ist die Temperatur tropischer Meere in ungefähr 1000 m Tiefe, An der Oberfläche ist es um 20 oder mehr Grade wärmer. Das brachte die Franzosen Claude, bekannt durch seine Leistungen für die synthetische Herstellung von Ammoniak, und Boucherot auf den Gedanken, dieses Temperaturgefälle auszunutzen. Warmes Oberflächenwasser von 25 bis 30 Grad wird in einen unter sehr niedrigem Druck stehenden Behälter gepumpt. Dort entwickelt sich Dampf, der in eine besonders gebaute Turbine geleitet wird, wo er Arbeit leistet. Hierauf gelangt er in einen Kondensator, wo er durch kaltes, aus der Tiefe geholtes Wasser wieder in flüssige Form überführt wird. Maßgebend für die Leistung ist der Unterschied der Dampfspannungen zwischen Eintritt in die und Austritt aus der Turbine. Er beträgt bei den angegebenen Temperaturen bloß um 2/100 at herum, wovon überdies nur ein Bruchteil ausgenutzt werden kann. Das Dampf-volumen ist aber sehr groß. Bei Dampf von 15° C nimmt zum Beispiel 1 kg Dampf 78 m³ ein. Mit Hilfe einer entsprechend gebauten Turbine lassen sich jedoch ganz annehmbare Leistungen erzielen. Claude rechnet mit einer Rohnutzleistung von 400 kWh je 1 m³ verdampften Meerwassers. Im Jahre 1930 wurde in der Matanzasbucht auf Kuba eine größere Versuchsanlage errichtet. Die größte Schwierigkeit bestand — wie zu erwarten — im Niederbringen und Abdichten der ungefähr 2 m im Durchmesser haltenden eisernen Wellblechrohre, durch die das Tiefenwasser aus 1000 m Tiefe heraufgeholt wird. Die Anlage wurde in Betrieb gesetzt, hat, wenigstens eine Zeit hindurch, gearbeitet, und eine Leistung von 20 kW erzielt. Der Gedanke der Ausnutzung des Wärmegefälles in tropischen Meeren selbst ist älter. Dr. Bräuer hat ihn schon vor dem Kriege gefaßt und 1924 in Berlin — zwei Jahre vor Claude — öffentlich ausgesprochen. Allerdings dachte er nicht an Wasser-, sondern an Ammoniak- oder Kohlensäuredampfmaschinen. Claude beabsichtigt eine neue Anlage für 54 000 kW Leistung zu bauen, die er aber noch immer als Versuchsanlage bezeichnet. Angesichts der Pläne zur Schaffung von schwimmenden Flughäfen mitten im Ozean kann die Claudesche Lösung bald größere Bedeutung gewinnen, als man ihr heute vielleicht zubilligen darf. Von dem gleichen Grundgedanken ausgehend, hat Dr. Barjot ein Polarkraftwerk entworfen. In diesem Fall war es die sehr niedrige Temperatur des Packeises, die gar so verlockend wirkte. Gegenüber dem verhältnismäßig „warmen“ Wasser von rund 0° unter der Eisdecke besteht ein Temperaturgefälle von annähernd der gleichen Größenordnung wie das von Claude in den tropischen Meeren ausgenutzte. Freilich wird man in den Polargegenden nicht mit Wasserdampf, sondern wohl mit Am-



Vulkanischer Dampf als Kraftquelle. Im Val d'Inferno in Toscana wird ein Kraftwerk seit Jahren durch vulkanischen Dampf betrieben, der teils natürlichen Fumarolen, teils Bohrlöchern entquillt

Amoniakdampf oder, wie Barjot vorschlägt, mit Butandampf arbeiten, daher auch die Anordnung eine andere sein müßte als bei Claude. Einen großen Vorteil besitzt sie dieser gegenüber in dem Umstand, daß sie keiner bis auf große Tiefen hinabreichenden Rohre bedarf, um sich das vorhandene Temperaturgefälle zunutze zu machen. Auch diese Art Kraftgewinnung wird mit der Entwicklung des Luftverkehrs — man denke an die Pläne für die Schaffung eines regelmäßigen Luftverkehrsdienstes über das Nordpolargebiet als kürzestem Weg von der alten zur neuen Welt — an Bedeutung gewinnen. Wirklich ernste Bedeutung hat aber eine Kraftquelle schon erlangt, von der man es weit weniger erwartet hätte: Vulkanischer Dampf. An seine Ausnutzung hat man schon lange gedacht. Der Respekt vor den unterirdischen Mächten war aber vermutlich denn doch ein allzu großer. Außerdem glaubte man nicht recht an die Zuverlässigkeit der Dampflieferung. Während man noch da und dort über die praktische Durchführbarkeit in theoretischem Meinungswechsel begriffen war, hat Fürst Piero Ginori Conti in dem verrufenen öden Val d'inferno (Tal der Hölle) bei Larderello im Toskanischen ein Vulkandampfkraftwerk angelegt. Seit Menschengedenken strömt dort heißer Dampf in den Fumarolen (fumo heißt Dampf, Rauch) aus der Erde. Anfangs, das ist nun rund drei Jahrzehnte her, wurden die Dämpfe bloß eingefangen, um Borsäure aus ihnen zu gewinnen. Heute werden alle in den Dämpfen enthaltenen Bestandteile ausgenutzt, und die Dämpfe selbst zum Betrieb von mehrtausendpferdigen Maschinen verwendet. Als die ersten Maschinen aufgestellt wurden, begnügte man sich mit den natürlichen Fumarolen. Jetzt bohrt man die Erde an, um sich den Dampf aus ihrem Innern zu holen, wie anderswo Erdgas oder Erdöl. Man kann hier ernstlich von einer bergmännischen Gewinnung von Vulkandampf sprechen. Schon liegen Pläne vor, durch Erweiterung der bestehenden Anlagen ganz Norditalien mit elektrischem Strom aus der Unterwelt zu versorgen.

Auch an anderen Stellen der Erde hat man — zaghaftere — Versuche gleicher Art angestellt. Auf Hawaii bezieht ein Hotel für Koch- und Heizzwecke Vulkandampf, und im Alexander Valley bei San Francisco bestehen seit Jahren Versuchsbohrlöcher. Zwei von ihnen sind besonders interessant, Obgleich sie nur 16 m voneinander entfernt sind, bringt die Dampfentnahme aus dem einen keine Senkung des Dampfdrucks im anderen hervor, ein Beweis, daß ihre beiden Dampfdomes vollkommen unabhängig voneinander sind. Wiederholt hat man Monate hindurch aus ihnen ungehemmt Dampf ausströmen lassen. Sobald man die Ventilkappe wieder abspernte, stieg der Dampfdruck auf das ursprüngliche Maß, so daß man hier mit einer sozusagen

unerschöpflichen Kraftquelle rechnen zu können glaubt. Man denkt denn auch an die Errichtung eines Elektrizitätswerks, das dauernd 50000 bis 100000 kW liefern soll. An vielen Stellen der Erde sind die Vorbedingungen für ähnliche Anlagen gegeben, und es mag vielleicht gar nicht so lange dauern, bis man von Vulkandampfnutzung mit der gleichen Selbstverständlichkeit sprechen wird, wie heute von der Wasserkraftnutzung. In der ganzen Geschichte der Technik der Tiefe sehen wir überall denselben Entwicklungsgang: Tastendes Suchen aus wirtschaftlichen Gründen, zu dem sich später rein wissenschaftliche Forschung gesellt, die neue Erkenntnisse bringt, neue Mittel schafft, neue Wege weist, die hinführen zu ungeahnten wirtschaftlichen Erfolgen.